

**Elektrokardiogramm und Pulsfrequenz
vor, während und nach dosierter Ergometerbelastung
bei 100 berufstätigen Männern**

von
Klaus Richter
aus Aachen

Aus dem Institut für Arbeits- und Sozialmedizin
der Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Prof. Dr. H. Valentin

ELEKTROKARDIOGRAMM UND PULSFREQUENZ VOR,
WÄHREND UND NACH DOSIERTER ERGOMETERBELASTUNG
BEI 100 BERUFSTÄTIGEN MÄNNERN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

Vorgelegt von
Klaus Richter
aus Aachen

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät der
Universität Erlangen-Nürnberg.



Dekan: Prof. Dr. med. A. Kröncke

Referent: Prof. Dr. med. H. Valentin

Tag der mündlichen Prüfung: 4. Februar 1969

An dieser Stelle möchte ich Herrn Prof. Dr. H. Valentin für die Überlassung des Themas und Arbeitsplatzes sowie seine großzügige Unterstützung bei der Literaturbeschaffung herzlich danken.

In gleicher Weise danke ich Herrn Dr. H.-J. Weitowitz für seine vielfältigen Ratschläge zur Ausarbeitung der Untersuchungsergebnisse, sowie Schwester E. Kroggel und den med.-techn. Assistentinnen Frau T. Hermann und Frau D. Hurtienne für ihre freundliche Hilfe bei den Arbeitsversuchen.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Einleitung	1
2. Literaturübersicht	6
2.1. Form und Schwere von Arbeitsbelastungen	6
2.2. Entwicklung der Belastungselektrokardiographie	7
2.3. Diagnostische Ausbeute bei Registrierung während und nach Belastung	9
2.4. Treffsicherheit des Belastungs-EKG	10
2.5. Allgemeine und prognostische Bedeutung des Belastungs-EKG	11
3. Methodik	16
3.1. Versuchspersonen	16
3.2. Geräte	17
3.3. Belastungsmodus	19
3.4. Untersuchungsgang	20
3.5. EKG-Kriterien	20
3.6. Symbole und Dimensionen	22
4. Ergebnisse	24
4.1. Gesamtergebnisse	24
4.1.1. Versuchsablauf	24
4.1.2. EKG-Auswertung	24
4.2. Einzelresultate der EKG-Auswertung	24
4.2.1. Resultate zum Normalverhalten	24
4.2.2. Pathologische Belastungszeichen im EKG	29
4.3. Verhalten der R-, S- und T-Amplituden	33
4.3.1. R-Zacken	34
4.3.2. S-Zacken	35
4.3.3. T-Wellen	36

4.4. Verhalten von Pulsfrequenz, Blutdruck- und Blutgaswerten	37
4.4.1. Pulsfrequenz	37
4.4.2. Blutdruck	39
4.4.3. Blutgaswerte	39
5. Diskussion der Ergebnisse	42
6. Zusammenfassung	46
7. Literaturverzeichnis	48

1. Einleitung

Beschwerden im Bereich des Herzens in Form von Druck, Beklemmung oder Schmerzen sind in Praxis und Klinik ein äußerst häufig geklagtes Symptom. Dies trifft insbesondere für im Berufsleben stehende Männer im mittleren oder höheren Lebensalter zu.

Differentialdiagnostisch sind vor allem folgende drei Affektionen zu diskutieren:

1.1. Das Syndrom der funktionellen kardiovaskulären Störungen:

Synonym werden für dieses Beschwerdebild verschiedene Bezeichnungen verwendet. Zu nennen sind hier die Dyskardie, das Cor nervosum, die vegetative Dystonie, das soldier's heart, das Effort-Syndrom, das Da Costa-Syndrom. Deren Abgrenzung ist besonders gegenüber der Angina pectoris vera wichtig. Ihr Schmerzcharakter zeigt zwei Qualitäten:

- dumpfen, über Stunden bis Tage anhaltenden Druck im Bereich der Herzgegend, der von den Patienten weniger schmerzhaft als unangenehm empfunden wird. Die Sensationen können in die gleichen Bezirke wie bei der Angina pectoris vera ausstrahlen, d. h. auch in den linken Arm;

- kurze, höchstens Sekunden dauernde, stichartige Schmerzen in der Herzgegend von stärkerer Intensität.

Die Schmerzen sind jedoch im Gegensatz zu denen bei Angina pectoris vera von körperlicher Bewegung völlig unabhängig. Sie sind in Ruhe gleichermaßen vorhanden und werden nach Anstrengung nicht selten weniger deutlich empfunden.

Die Diagnose ist wahrscheinlich bei der beschriebenen charakteristischen Symptomatologie und normalen Kreislaufbefunden wie Elektrokardiogramm (EKG) und Herzfernaufnahme. Sie wird durch den Nachweis vegetativer Überempfindlichkeitszeichen, wie Dermographismus, Schweißausbruch, hohe T-Zacken im EKG weiter gestützt. Im allgemeinen handelt es sich hier um zwei Gruppen von Patienten:

- a) solche mit einer Labilisierung des vegetativen Systems durch berufliche Überbeanspruchung oder durch Genußabusus,

- b) sogenannte "Problempatienten", bei denen reaktiv infolge seelischer Belastungen körperliche Symptome auftreten.

1.2. Die Angina pectoris vera:

Schmerzen bei Angina pectoris vera sind die Folge einer Hypoxämie des Herzmuskels. Sie strahlen in verschiedene Körperregionen aus. Befallen werden vorwiegend Männer, auch schon in jüngeren Jahren (30 bis 40 Jahre), Frauen meist erst im Alter von über 50 Jahren. Bevorzugt sind starke Raucher.

Die charakteristischen Angina pectoris vera-Schmerzen können durch körperliche Belastung ausgelöst werden. Die Beschwerden verschwinden oft nach wenigen Minuten Ruhe. Sie lassen sich dadurch sowohl gegenüber dem funktionellen kardiovaskulären Syndrom (keine Abhängigkeit von Belastung) als auch dem Herzinfarkt (Dauerschmerz) abgrenzen. Der Schmerz kann hauptsächlich durch drei Faktoren verstärkt werden: kalte Außentemperatur, erhebliche Nahrungsaufnahme und vasokonstriktorische Vaguswirkung.

Die Diagnose der Angina pectoris vera ist häufig schon aus der Anamnese bei Beachtung der erwähnten Symptome mit großer Wahrscheinlichkeit zu stellen. Sie wird durch den EKG-Befund in den meisten Fällen lediglich erhärtet. Das Ruhe-EKG kann Zeichen einer Myokardschädigung zeigen. Eine echte Angina pectoris ist aber auch bei völlig normalem Kurvenverlauf keineswegs auszuschließen.

In nicht wenigen Fällen kann die Diagnose Angina pectoris vera durch charakteristische Veränderungen unter Arbeitsbelastung oder bei O₂-Mangelatmung elektrokardiographisch bestätigt werden.

Als einfachste Form der Arbeitsbelastung hat sich das in Bezug auf Tempo und Ausmaß dem Zustand und der Lebensgewohnheit des Patienten leicht anpaßbare Treppensteigen bewährt. Wird dieser Test nicht schematisch durchgeführt, sondern nur so lange ausgedehnt, bis sich die geklagten Symptome einstellen, sind keine Zwischenfälle zu befürchten. In modernen Spitälern ist der Treppensteigversuch

aus äußeren Gründen oftmals nicht mehr durchzuführen und wird durch den "Master-2-Stufen-Test" ersetzt. Der Hypoxämietest, welcher eine genaue Dosierung erlaubt, ist an die Klinik gebunden, was seine praktische Bedeutung einschränkt.

Von einem positiven Arbeitsversuch kann bei folgenden EKG-Veränderungen, welche eine sogenannte Ischämiereaktion anzeigen, gesprochen werden:

- Senkung der Zwischenstücke in den Ableitungen I und II oder in einer der Thoraxableitungen,
- erhebliche Abflachung der T-Zacken in einer der erwähnten Ableitungen,
- Rekonstruktion eines Infarktfrühbildes.

1.3. Der Myokardinfarkt:

Der Myokardinfarkt muß hier ergänzend ebenfalls Erwähnung finden. Die Diagnose wird gestellt aus:

- der Anamnese mit Dauerschmerz, der im allgemeinen durch Nitroglyzerin nicht beeinflusst wird. Der Schmerz kann wenige Minuten bis Tage anhalten und ist im ganzen Thoraxbereich, vorwiegend links, gelegentlich aber auch rechts lokalisiert. Charakteristisch ist nicht ein streng lokalisierter, sondern ein zusammenschnürender Schmerz, der wie eine Beengung empfunden wird und vorwiegend in die Schultergegend und in die Innenseite des linken Armes ausstrahlt. Manchmal ist die Schmerzempfindung im Bereich des ganzen linken Arms spürbar, gelegentlich aber auch nur im Ober- und Vorderarm oder streng umschrieben im Bereich der Ellenbeuge. Schmerzausstrahlung in beide Arme ist weniger häufig;
- klinischen Zeichen wie Temperatursteigerung, Leukozytose, Blutdruckabfall, perikarditisches Reiben, Fermentaktivität im Serum und
- Elektrokardiogrammveränderungen: als Nekrosezeichen pathologische Q-Zacken und R-Verlust in Thoraxableitungen, als Ischämiezeichen ST-Senkung und tiefe, spitze T-Inversion.

Beim Infarkt-EKG müssen die Früh- und Spätveränderungen unterschieden werden. Die Frühveränderungen können erst einige Stunden nach dem Infarkt ereignis in Erscheinung treten, so daß ganz frische Infarkte (bis 24 Stunden) elektrokardiographisch zunächst noch stumm bleiben. Ein negativer EKG-Befund schließt also im Frühstadium das Vorliegen eines Infarktes nicht aus. Auch ältere, kleinere Infarkte in sogenannten stummen Zonen können dem EKG-Nachweis entgehen. Der Ablauf des elektrokardiographischen Bildes, also die Beobachtung einer Verlaufsserie, ist für die Beurteilung eines Infarktes oft wichtiger als die Momentaufnahme (HEGG-LIN, 1966; HOLZMANN, 1965; KNIPPING und Mitarbeiter, 1960).

Bei den häufig zu beobachtenden Beschwerden des Cor nervosum und der Angina pectoris vera hat die Elektrokardiographie in den letzten 30 Jahren eine große diagnostische Bedeutung erlangt.

Zunächst wurden seit etwa 1930 regelmäßig Registrierungen des EKG in Ruhe, dann auch nach Arbeitsbelastungen durchgeführt, um Schäden im Bereich der coronarmuskulären Einheit aufzudecken (DIETRICH und SCHWINGK, 1953; MASTER und ROSENFELD, 1961).

Zur Anfertigung eines solchen EKG nach Belastung bestehen allgemein folgende Indikationen:

- a) Fragliches und nicht dekompensiertes Herzleiden,
- b) fragliche Angina pectoris,
- c) coronarsklerotische Manifestationen,
- d) Arrhythmie in der Anamnese,
- e) ferner im Rahmen von allgemeinen Gesundheitskontrollen bei Probanden im Alter über 40 Jahren mit erblicher Belastung von Herz und Kreislauf und Risikofaktoren wie Diabetes, Hypercholesterinämie oder Hochdruck (HOLZMANN, 1965).

In den letzten Jahren ist es durch technische Verbesserungen möglich geworden, auch EKG-Registrierungen während Arbeitsbelastungen durchzuführen. Dabei bestehen grundsätzlich zwei Möglichkeiten:

- a) kurzzeitige EKG-Registrierung während einfacher Arbeitsbelastungen oder auf sogenannten "Prüfständen" (z. B. Fahrradergometer),
- b) Langzeitregistrierungen während einer 8-stündigen Arbeitsschicht in den verschiedenen Berufssparten. Es werden hierbei sowohl Aufzeichnungen in speziell konstruierten, kleinen Bandspeichergeräten als auch telemetrische Verfahren zur Übertragung an eine Empfangsstation vorgenommen.

Angesichts dieser Sachlage wurde mir die arbeits- und präventiv-medizinisch interessante Aufgabe gestellt, bei 100 berufstätigen Männern das EKG und die Pulsfrequenz vor, während und nach dosierter körperlicher Belastung auf dem Prüfstand zu registrieren und auszuwerten.

2. Literaturübersicht

Die Herz-Kreislauf-Belastungsprüfungen haben in den vergangenen drei Jahrzehnten schnell an Bedeutung gewonnen. Bei einem Überblick müssen folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Form und Schwere von Arbeitsbelastungen,
- Entwicklung der Belastungselektrokardiographie,
- diagnostische Ausbeute bei Registrierung während und nach Belastung,
- Treffsicherheit des Belastungs-EKG,
- Allgemeine und prognostische Bedeutung des Belastungs-EKG.

2.1. Form und Schwere von Arbeitsbelastungen:

Die Herz- und Kreislaufdiagnostik wurde seit Beginn unseres Jahrhunderts neben der Anamnese und den physikalischen Untersuchungen in zunehmendem Maße durch die Beobachtung des Probanden nach körperlicher Belastung ergänzt.

Als körperliche Arbeit regten BRITTINGHAM und WHITE (1901) an, individuell verschieden häufig Hanteln vom Boden über Schulterhöhe zu heben. Andere ließen eine unterschiedliche Anzahl von Treppenstufen ersteigen, so z. B. SELIG (1905) und RAPPORT (1917). Die Belastung auf dem Fahrradergometer schlugen u. a. MENDELSSOHN (1901), BENEDICT und CARPENTER (1909) und KROGH (1913) vor.

KNIPPING empfahl 1929 das Drehkurbelergometer mit der Möglichkeit, weitausholende Armarbeit verrichten zu lassen. 1929 führten MASTER und OPPENHEIMER in Amerika ein neues Verfahren ein: Ihre Patienten überstiegen jeweils zwei Stufen von je 9 inches (= 22,5 cm), drehten sich um und stiegen zurück. Die Zahl der Übersteigungen standardisierten die Autoren nach Versuchen an Normalpersonen in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht und Gewicht.

Besonders häufig wird in Deutschland bis heute die Kniebeugenbelastung durchgeführt. In den angelsächsischen Län-

dern hat vorwiegend der "Master-2-Stufen-Test" Verbreitung gefunden.

In der Literatur wird vielfach heute noch über die optimale Form - z. B. Kniebeugen, Stufenklettern oder Fahrrädergometerarbeit - und Dosierung der Belastung diskutiert. Diese müssen dem Leistungsvermögen des Patienten angepaßt werden. HEINECKER (1965) sowie MOLL und HAMACHER (1967) weisen z. B. darauf hin, daß für einen älteren Untrainierten 20 Kniebeugen oder 50 Treppenstufen eine wesentlich stärkere Belastung bedeuten, als das Doppelte für einen jungen Sportler. Es komme darauf an, eine Belastungsform zu verwenden, die es gestattet, eine nach Watt oder mkp/sec genau dosierte Belastung vorzuschreiben, was z. B. bei der Kniebeugenbelastung nicht möglich ist.

Im Einklang mit BENGTSSON (1956), ASTRAND (1963), ROSKAMM und Mitarbeiter (1963), ROSENKRANZ und Mitarbeiter (1964), BLOHMKE (1967), VALENTIN (1967) u. a. sind wir davon ausgegangen, daß die individuell dosierbare Fahrrädergometerarbeit besonders für den Gebrauch in weiten Leistungsbereichen ein objektives Belastungsverfahren darstellt.

2.2. Entwicklung der Belastungselektrokardiographie:

Sämtlichen bis etwa zum Jahr 1930 genannten Untersuchern diene das Verhalten von Puls und Blutdruck in Ruhe und nach Belastungsende als Maßstab für die Güte der Herzfunktion. Man muß nach der Belastung in kurzen Abständen die durch die Arbeit hervorgerufene Reaktion der beiden Größen. Kehreten deren Werte nach wenigen Minuten auf die in Ruhe gemessene Höhe zurück, betrachtete man die Herzfunktion als normal.

1931 schlugen erstmals WOOD, WOLFERTH und LIVESEY vor, zur Beurteilung der Herzarbeit statt Puls und Blutdruck das nach der Belastung geschriebene EKG heranzuziehen. 1933 beschrieben SCHERF und GOLDHAMMER die Veränderungen des EKG nach Belastung. Sie regten an, den Patienten diejenige Arbeit ausführen zu lassen, die gewöhnlich bei ihm einen Angina pectoris-Anfall auslöse.

Seither haben sich zahlreiche Untersucher mit der EKG-Registrierung nach körperlicher Arbeit befaßt. Unter anderen seien genannt: DIETRICH und SCHWIEGK (1933), HOLZ-MANN und WUHRMANN (1936), MASTER und Mitarbeiter (1942, 1961, 1967), KNIPPING und Mitarbeiter (1960). SCHLOMKA, REINDELL und MALAMANI versuchten schon 1939, Elektrokardiogramme während Kniebeugenbelastung zu registrieren. Technische Schwierigkeiten mit den Registriergeräten und Elektroden verhinderten jedoch bis in die fünfziger Jahre die zur Diagnostik notwendige Exaktheit und Reproduzierbarkeit der Elektrokardiogramme. Nach technischer Verbesserung der Methodik veröffentlichte BENGTSSON 1956 während und nach Fahrradergometerbelastung geschriebene, diagnostisch verwertbare Elektrokardiogramme. Nach weiteren technischen Fortschritten registrierten in den letzten Jahren u. a. ASTRAND (1960), KALTENBACH und KLEPZIG (1963), ROSKAMM und Mitarbeiter (1963), ROSENKRANZ und DREWS (1964) und SANDLER (1967) das EKG während körperlicher Arbeit.

Sämtliche Autoren bewerten die Arbeits-EKG vor allem nach den durch die Arbeit hervorgerufenen Veränderungen der ST-Strecke in Form von: gesenktem ST-Strecken-Abgang, muldenförmigem, deszendierendem, horizontalem oder aszendierendem Verlauf der ST-Strecke. Als weitere typische Arbeitsveränderungen gelten zusammen mit ST-Veränderungen vorkommende komplette T-Inversionen, gehäufte Extrasystolen oder absolute Arrhythmie (ASTRAND (1960), ROSKAMM und Mitarbeiter (1963), BELLET und Mitarbeiter (1964), HOLZMANN (1965) u. a.)

In den letzten Jahren wurde die "Radioelektrokardiographie" entwickelt. Hiermit tauchte eine neue Möglichkeit auf, Elektrokardiogramme während körperlicher Belastung zu registrieren. 1961 berichteten BELLET und Mitarbeiter über das Verfahren, 1965 beschrieb KLIMT die Ergebnisse seiner Versuche mit dieser Methode. Hierbei werden die elektrischen Impulse vom Probanden nicht über eine Kabelverbindung dem

EKG-Schreiber zugeführt, sondern über einen von der Versuchsperson getragenen Sender an einen Empfänger gefunkt. Zur Sichtkontrolle und Registrierung finden ein Oszilloskop und ein Elektrokardiograph Verwendung. Der Untersucher ist also nicht an einen bestimmten Untersuchungsraum gebunden. Er kann die Herzstromkurve bei einer beliebigen Arbeit des Patienten aufzeichnen, was u. a. für die Arbeitsmedizin von besonderer Bedeutung ist.

In der Belastungselektrokardiographie werden in jüngster Zeit folgende Ziele angestrebt:

1. Verfeinerung der Diagnostik von typischen Arbeitsveränderungen im EKG. Zu dem Zweck führten ISAACS und Mitarbeiter (1966) vektorelektrokardiographische Untersuchungen unter Arbeitsbelastung durch. LEWES und HILL (1967) berichteten über Versuche mit sogenannten "multipoint electrodes". Es handelt sich dabei um Metallelektroden, in deren Oberfläche feine Spitzen eingearbeitet sind, die das stratum corneum der Epidermis durchdringen. Diese Elektroden sollen durch Verminderung der Elektroden-Haut-Verschiebung störungsfreiere Ableitungen als die bisherigen ermöglichen.
2. Erleichterung der Auswertung durch den Einsatz von Computern. WHITEMAN und Mitarbeiter wiesen in diesem Zusammenhang 1967 auf die Einsatzmöglichkeit von Rechenmaschinen hin. Mit deren Hilfe wird man zukünftig die Ergebnisse einer mehrstündigen Langzeitregistrierung in wenigen Minuten abrufen können.

2.3. Diagnostische Ausbeute bei Registrierung des EKG während und nach Belastung:

Wann ist die elektrokardiographische Ausbeute größer, wenn man das EKG nur vor und nach oder zusätzlich auch während der Belastung registriert? Den größeren Erkenntnisgewinn bei Aufzeichnung auch während der Belastung betonen z. B. ASTRAND (1960), BELLET und Mitarbeiter (1964), ROSKAMM und Mitarbeiter (1963), SCHWEIZER und Mitarbeiter (1967) und SANDLER (1967).

ASTRAND erhielt bei einer Untersuchung von insgesamt 11 pathologischen Belastungsreaktionen 7 nur während der Belastung. BELLET fand in Arbeitsversuchen mit 90 Personen zwischen 33 und 84 Jahren bei 12 % seiner Patienten positive EKG-Zeichen nur während der Belastung. In 30 % der Fälle überwogen die anormalen Befunde eindeutig während der Arbeit. ROSKAMM und Mitarbeiter hatten bis zum Zeitpunkt ihrer Mitteilung ca. 500 EKG während Ergometerarbeit registriert. Sie sehen den Vorteil dieser Methode u. a. darin, mit ihr EKG-Veränderungen erfassen zu können, die kurz nach der Belastung wieder verschwunden sind. SCHWEIZER berichtete davon, daß ihm in einer Untersuchung an 1300 berufstätigen Männern im Alter von 15 bis 74 Jahren mindestens ein Drittel pathologischer EKG-Zeichen verloren gegangen wäre, wenn er nur nach der Belastung registriert hätte. Schließlich sei auf die Arbeit von SANDLER hingewiesen. Er verglich das "Radio-EKG" mit dem konventionellen EKG, geschrieben vor und nach der Arbeit, anhand von Tests bei 50 Patienten mit Verdacht auf Angina pectoris und bei 32 Hypertonikern ohne Angina pectoris. Fast zwei Drittel der Patienten mit Angina pectoris, die keine Veränderung in V_5 nach der Belastung aufwiesen, ließen im Radio-EKG entweder während oder nach der Belastung deutliche ischämische Veränderungen erkennen.

Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen bestreitet MASTER (1967) nach Auswertung von 800 vergleichsweise nach und zusätzlich während der Belastung geschriebenen EKG die dadurch mögliche größere diagnostische Ausbeute.

2.4. Treffsicherheit des Belastungs-EKG:

Zur Frage nach der Treffsicherheit des Belastungs-EKG bei der Diagnostik von Koronarinsuffizienzen geben SCHERF und BOYD (1955) sowie HOLZMANN (1965) eine Quote von ungefähr 80 % an. Das Arbeits-EKG ist also ein aussagekräftiges, aber nicht in jedem Fall beweisendes Verfahren, um das Vorliegen einer Koronarinsuffizienz zu objektivieren.

2.5. Allgemeine und prognostische Bedeutung des Belastungs-EKG:

Die Bedeutung des während und nach körperlicher Arbeit registrierten EKG liegt in folgendem: Es erleichtert die Diagnostik von Herzrhythmus- und Reizleitungsstörungen. Vor allem gibt es Auskunft über die Myokardfunktion in Abhängigkeit von der Koronardurchblutung besonders dann, wenn ein "stumm-" Ruhe-EKG vorliegt (ASTRAND (1960), BELLET und Mitarbeiter (1961), KALTENBACH (1963), BLOHMKE (1967), VALENTIN (1967) u. a.).

Wenn das Arbeits-EKG das Bild einer Koronarinsuffizienz zeigt, ergibt sich daraus eine belastende Prognose für die Lebenserwartung des Patienten. Die prognostische Bedeutung des pathologischen Belastungs-EKG wurde z. B. von MATTINGLY (1962) und KALTENBACH und Mitarbeiter (1967) betont. MATTINGLY gab in einer 1962 veröffentlichten Nachuntersuchung von insgesamt 980 Personen die Sterberate der Gruppe mit pathologischen ST-Senkungen nach Belastung mit dem Drei- bis Fünffachen der Norm an. Die Untersuchung erstreckte sich über einen Zeitraum von 10 Jahren. Dabei zeigte die Gruppe mit früher abnormer ST-Senkung nach Belastung eine rund achtfach höhere Infarkthäufigkeit in den folgenden Jahren gegenüber den Patienten mit normalem Belastungs-EKG. KALTENBACH berichtete über eigene katamnestische Nachuntersuchungen: Unter 82 Patienten mit pathologischem Belastungs-EKG und der Diagnose "Angina Pectoris" kam es bei 22 % der Fälle nach insgesamt fünf Jahren zu Herzerkrankungen in Form von Myokardinfarkt und Herzinsuffizienz. In einem Vergleichskollektiv ohne Angina pectoris-Patienten trat nur ein Infarkt auf.

Ein zusammenfassender Überblick über einige Ergebnisse aus Veröffentlichungen zum Gebiet des Belastungs-EKG ist in Tabelle 1 enthalten.

Tabelle 1: Einige Ergebnisse aus der Weltliteratur der letzten 15 Jahre über das Belastungs-EKG, insbesondere hinsichtlich des Vorkommens von pathologischen ST-Strecken-Senkungen (auszugsweise nach BLOHME, 1967, ergänzt durch weitere Literaturstellen).

Abkürzungen: E = Ergometer, M = Master-2-Stufen-Test, W = Watt, s = sitzend, l = liegend, j. ST = junctionale ST-Senkung, ES = Extrasystolen, m = männlich, w = weiblich, Skg = Senkung, Vp = Versuchspersonen, Bel. = Belastung

Autor	Zahl der Vp; a) Belastungsart Alter; Ge- b) " schlechte stärke	ST-Kriterien Registrierung in ST-Skg in % Sonstige Ergebnisse		
		a) Ruhe	a) Ruhe	a) Ruhe
		b) Belastung	b) Belastung	b) Belastung
		c) Erholung	c) Erholung	c) Erholung
WENER und Mitarb., 1953	311	a) M	ST-Skg > 0,5 mm	c) 7,1
BENGTSSON, 1956	84; 5-14; m, w, 41; 15-40, m, w, Gesunde	a) Fahrrad E b) soviel W, bis Puls für 6min 150, danach 170/min	ST-Skg > 1 mm	Selten Rhythmusstö- rungen, ST-Skg wäh- rend bel. stärker in Rechtsherz-, nach bel. nie in Rechts- häufiger in Links- herzableitungen
LEPESCHKIN SURAWICZ, 1958	230; 19-56; m, w	a) M	ST-Skg > 0,5 mm	a) 0 b) 3,6 - 52,5

Tabelle 1, Fortsetzung a):

ASTRAND, 1960	44; 20-65; w, Gesunde	a) Fahrrad E b) 600 kpm/min für je 6 min dann je 150 kpm/min bis Puls 150/min	Eigene Einteilung in 4 Gruppen nach Schweregrad a) nach 5 min b) 2., 4., 5., 6. min jeder Belastungsstufe	Von 11 Vp der Gruppe 3 u. 4 kamen 7 nur durch d. höchste Bel.-Stufe in diese Gruppe
BELLET, DELIYIANNIS ELIAKIM, 1961	127; 18-51	a) M	j. ST	b) 13 c) 12
KALTENBACH KLEPZIG, 1963	12; 41-63; m, Kranke	a) E, l b) 25, 50, 60, 65, 75, 100 W bis zum Auftreten stenokardisch.Beschw.	ST-Skg > 0,5 mm (abwärts, waa- gerecht oder nach oben kon- vex	b) jede min c) sofort nach Bel.Ende u. 2., 4. min
KALTENBACH KLEPZIG, 1963	12; 41-63; m, Kranke	a) E, l b) 25, 50, 60, 65, 75, 100 W bis zum Auftreten stenokardisch.Beschw.	ST-Skg > 0,5 mm (abwärts, waa- gerecht oder nach oben kon- vex	11 x während, 12 x nach Bel. Ischämie- reaktion. Verstärkt. jeweils mit der Dauer der Bel. bei 3 Vp skg. während Bel. deutlich, in der Er- holung unsicher. Zu- u. Ausnahme der T-Am- plitude nicht pathol. bei Gesunden.
STRANDELL, 1963	126; 30-83; m, Gesunde	a) Fahrrad E b) Start bei 300 kpm/min, Erhöhung um je 300 kpm/min f. je 6 min bis zur Erschöpfung	5 eigene Schweregrade a) nach d. 5. min jeder Stufe b) 1., 4. min 10. min bei persistierenden Zeichen	c) pathol ES meist während der ST-Skg Bel., ST-Skg meist in v. 4% der Erholung bei 30 - 39 jährig. auf 38% b. 70-80-jährig.

TABELLE 1, Fortsetzung b):

BELLET, ELIAKIM, DELIYIANNIS FIGALLO, 1962	135; 30; m	a) E	ST-Skg > 1 mm	a) 0 b) 13 c) 10
--	------------	------	---------------	------------------------

ROSKAMM, REINDELL, u. Mitarb. 1963	500; m, w, Gesunde u. Kranke	a) E, l b) Start bei 25 W weitere 25 W je 6 min bis zum Auftreten pectanginöser Beschw.	1) ascendieren- de ST-Skg = "nicht normal" 2) horizontale, muldenförmige oder descendie- rende Skg = eindeutig pa- thol.	1), 4., 5., 6. min je- der Stufe c) sofort nach Bel. Ende, 2., 4. 6. min bei pathol. Zei- chen bis z. Normalisg.	Sensibelste Ableitung ist V ₄ . T-Ablachung während Bel. nicht Aus- druck einer Coron.-In- suff., T-Inversionen vorsichtiger zu beur- teilen.
---	------------------------------------	---	--	---	--

ROSENKRANZ DREWS, 1964	über 200; Gesunde u. Kranke	a) Fahrrad E b) Start bei 30 oder 60 W f. 3-5 min, dann jede min 30 W erhöht bis 90 - 300 W	"ischämisch" = b) horizontal o. c) nach unten kon- vexe ST-Skg	jede min erste 30 sec, dann 1., 2., 3., 4., 5. min	Fälle mit angeflachtem T in Ruhe zeigten nicht mehr ST-Skg bei Bel. als solche mit normal hohem T in Ruhe
------------------------------	-----------------------------------	---	---	--	---

LACHMANN SEWLER GUSTAFSON, 1965	200; 15-30	a) M	ST-Skg > 1 mm	b) 6 c) 9
--	------------	------	---------------	--------------

Tabelle 1, Fortsetzung c):

SCHWEIZER u. 1300; Mitarb., 15-74; m, 1967 Gesunde	a) M b) 180 sec (= doppelter M)	"positiv", wenn während o. nach Bel. Junctional- Punkt o./u. ST > 1 mm ge- senkt u. QX/ QT 50 %	l) V ₅ alle 30 sec c) sofort nach Bel. Ende, dann 1., 2., 3., 4., 5., 6. min	a) 17% (n=220) b) 48 d. 220 po- sitiv in 16 zifi- sche Verän- d. 48 Fälle entscheiden- in 33 % der Veränd. wäh- rend nur der Bel. registriert.
BLOHME u. Mitarb., 1967	182; 30-40; m, Arcuits- fähige	a) Fahrrad E b) soviel W, daß nach 6 min der Puls ca. 145/min be- trug	c) 2. min	a) 5, 3 c) 26, 5 In den Fällen mit ST-Skg häu- figer eine QT-Ver- längerung als in Fällen ohne ST- Skg. Keine Bezie- hung zw. ST-Skg u. ST subjektiven Herzbeschwerden.
DATEY u. MISRA, 1968	259; 10-70; m, w; Gesunde u. Kranke	a) M	a) in Ruhelage b) kontinuierl. c) sofort, 2. u. 6. min nach Belastung	c) 40-45 bei Kranken, O bei Ge- sunden Bei rheumatisch Herzkranken scheinen die Bel. Zeichen durch hä- modynamische Ver- änderungen auf Grund von Klap- penfehlern be- dingt zu sein.

3. Methodik

3.1. Versuchspersonen:

100 berufstätige, gesunde Männer im Alter von 14 bis 60 Jahren wurden untersucht. Es handelte sich zum größten Teil um gewerbliche Arbeitnehmer und Angestellte eines steatitverarbeitenden Betriebes der elektrokeramischen Industrie. Sie wurden nach dem Lebensalter in 15-Jahresklassen mit der Gruppenbezeichnung I, II und III aufgeteilt. Tabelle 2 gibt die zahlenmäßige Verteilung wieder.

Tabelle 2: Altersverteilung der 100 Probanden

Gruppe	I	II	III
Alter /Jahre/	14 - 29	30 - 44	45 - 60
$\bar{x}$	19,52	37,13	51,25
s	3,89	3,94	4,86
n	36	44	20

In Gruppe I nahmen neben den Werkträgern auch 12 Studenten teil. Sämtliche Versuchspersonen hatten sich freiwillig zur Verfügung gestellt, nachdem sie vorher über den Zweck des Belastungsversuchs unterrichtet worden waren. Vor der Belastung wurde von allen Probanden eine Anamnese aufgenommen. Außerdem wurden die Atemorgane physikalisch und röntgenologisch untersucht. Hiermit und darüber hinaus durch spiromographische und ganzkörperplethysmographische Lungenfunktionsanalyse wurde ausgeschlossen, daß Versuchspersonen mit Schäden an Herz und Kreislauf bzw. Bronchien und Lungen an den Arbeitsversuchen teilnahmen. Außerdem ermittelten wir von jedem Probanden den Beruf und eine eventuelle sportliche Betätigung. Schwerstarbeiter und Hochleistungssportler fanden sich nicht in diesem Kollektiv.

3.2. Geräte:

Die spiographischen Meßgrößen der Voruntersuchung wurden im geschlossenen System mit einer Luftumwälzung von 400 l/min (Magna Test, Typ 510, der Firma Dargatz) ermittelt. Zur Ganzkörperplethysmographie stand das Gerät Siregnost FD 90 (Fa. Siemens AG, Erlangen) zur Verfügung. Zu den Grundlagen des Verfahrens und dem Anwendungsbereich sei auf WOITOWITZ, BUCHHEIM und WOITOWITZ (1967) verwiesen. Die Fahrradergometerarbeit leisteten die Untersuchten auf einem Universalergometer mit großer Schwungmasse und Anlaufmotor (Fa. Dargatz, Typ "Ergomat 499").

Zur Registrierung der Arbeits-EKG diente ein 4-Kanal-Düsen-direktschreiber "Cardirex 42" (Fa. Siemens AG, Erlangen), eingestellt auf einen Papiervorschub von 50 mm/sec. Die Kanäle CL und CF des Gerätes waren zusammengeschaltet. Über den Ausgang für V_6 hatten wir den EKG-Schreiber mit einem Kontrollgerät, "Sirecust M 1" (Fa. Siemens AG, Erlangen), gekoppelt. Dieses ermöglichte die dauernde oszilloskopische Kontrolle von V_6 , sowie die zusätzliche Pulsablesung.

Die Brustwandelektroden für die Arbeitsbelastung ließen sich mittels zweier durchlöcherter, ca 2 cm breiter Gummigürtel fixieren. Als indifferente Elektrode wurde die des linken Armes auf dem Rücken links neben der Erdelektrode befestigt.

Die Blutdruckmessung nach Riva Rocci erfolgte am rechten Oberarm mit dem "Erkameter" (Fa. Erka). Zur Blutgasbestimmung gelangte das Gerät "Combi Analysator U" (Fa. Eschweiler u. Co., Kiel) zur Anwendung.

xx)

Die Abbildung 1 (a, b) vermittelt ein Bild von der Versuchsanordnung (s. u.)

xx) An dieser Stelle sei Herrn Ing. grad. R. WOITOWITZ für seine mannigfache Hilfe beim Betrieb der Geräte herzlich gedankt.



Abbildung 1 a: Proband S., H.-J. auf dem Fahrradergometer. Auf der linken Thoraxhälfte wurden mit 1, 2, 3, die Elektroden für die transthorakalen Ableitungen entsprechend den Wilson-Ableitungen V_2 , V_4 , V_6 bezeichnet. 4 = Blutdruckmesser "Erkameter", 5 = Umdrehungsmesser für Tretgeschwindigkeit.

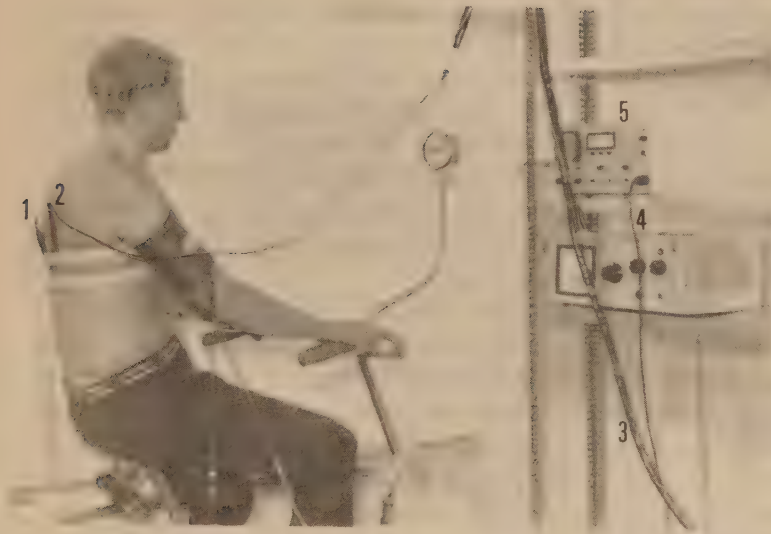


Abbildung 1 b: Proband S., H.-J., auf dem Fahrradergometer.
1 = Elektrode des linken Arms als indifferente Elektrode neben der Erdelektrode (= 2);
3 = Zuleitung zum EKG-Schreiber; 4 = Verbindung des EKG-Schreibers mit Pulsfrequenzmesser und Oszilloskop "Sirecust M 1"; 5 = "Sirecust M 1". 6 = Steuergerät für das Ergometer.

3.3. Belastungsmodus:

Für den Arbeitsversuch fanden die Standardisierungsvorschläge von MELLEROWICZ, REINDELL, HOLLMANN, MIES und ROSKAMM (1961) weitgehende Berücksichtigung. Bei einer Tretfrequenz von 40 Udr./min begann die Belastung zunächst mit 30 Watt für 3 min. Danach wurde 3 mal für je 3 min um 40 Watt gesteigert, so daß in der letzten Belastungsstufe eine Leistung von 150 Watt erbracht wurde. Nach der 12. Belastungsminute blieben die Probanden für die Dauer von 6 min auf dem Ergometer sitzen. Dadurch war es möglich, auch die Erholungsphase zu registrieren.

3.4. Untersuchungsgang:

Nach einer 10-minütigen Ruhelage wurde zunächst das Ruhe-EKG mit folgenden Ableitungen geschrieben:

Standard- I, II, III, Goldberger- aVR, aVL, aVF, Wilson V_1 bis V_6 und Nehb'sche Ableitungen D, A, I.

Das Arbeits-EKG wurde mit transthorakalen Ableitungen entsprechend den Wilson-Ableitungen V_2 , V_4 , V_6 am Ende der 3., 6., 9. und 12. Belastungs- sowie in der 2. und 6. Erholungsminute gewonnen.

Die Extremitätenableitungen fanden im Belastungsversuch keine Berücksichtigung, da hier die Störungen der EKG durch Schwankungen der isoelektrischen Linie wie auch durch Überlagerung mit Muskelaktionspotentialen zu groß sind. ROSKAMM und REINDELL wiesen 1963 aus den gleichen Gründen auf den Wert von V_2 , V_4 , V_6 hin. ROSENKRANZ und DREWS (1964) betonten die allgemein geringere Aussagekraft der Extremitätenableitungen.

Neben dem EKG wurden folgende Größen erfaßt:

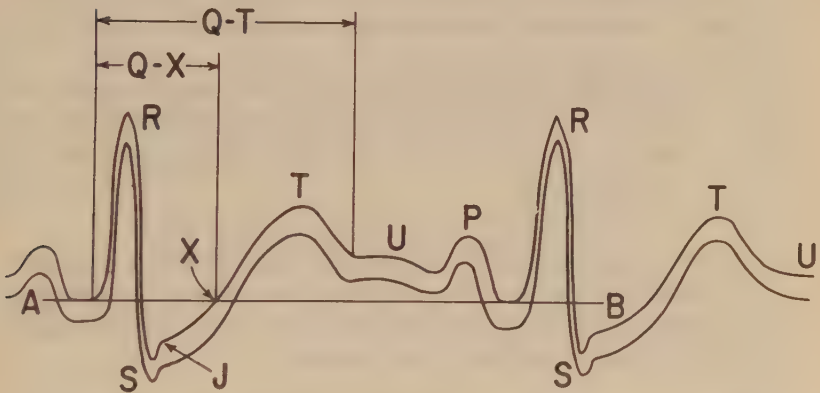
1. Die Pulsfrequenz in Ruhelage und während jeder Minute der Belastung und Erholung;
2. Der Blutdruck in Ruhe, sofort nach Belastungsende und in der fünften Erholungsminute. Er konnte aus technischen Gründen in einigen Fällen nicht gemessen werden;
3. Die arteriellen Blutgaswerte in Ruhe, am Ende der 12. Belastungs- und in der zweiten Erholungsminute. Das arterielle Blut wurde am sitzenden Probanden mittels heparinisierter Glaskapillaren (0,06 ml) aus dem mit "Finalgon" (R) hyperämisierten Ohrläppchen entnommen. Auch hierbei gab es aus technischen Gründen vereinzelt Ausfälle.

3.5. EKG-Kriterien:

Die Ruhe-, Belastungs- und Erholungs-EKG gelangten wie folgt zur Auswertung: Die R-, S- und T-Zacken-Amplituden und das Auftreten von Extrasystolen wurden quantitativ er-

faßt. Von besonderem Interesse waren Veränderungen des ST-Strecken-Abgangs (junction point) und des St-Strecken-Verlaufs.

Abbildung 2 zeigt die zur Messung wichtigen Punkte des ST-Strecken-Verlaufs.



Modified from Lepeschkin, E. and Surawicz, B.: *New England J. Med.*, 258:511, 1958.

Abbildung 2: Schema eines QRS-Komplexes mit Hinweisen für die Bewertung nach MASTER und ROSENFELD (1967). Modifiziert nach LEPESCHKIN, E. und B. SURAWICZ (1958).

Erklärung: A — B = isoelektrische Linie, Q — T = QT-Intervall, gemessen von Anfang Q bzw. R bis Ende T, J = ST-Strecken-Abgang (junction), X = Schnittpunkt der aufsteigenden ST-Strecke mit der isoelektrischen Linie.

Es wurden der Bewertung folgende Kriterien nach MASTER und ROSENFELD (1964 und 1967) zugrunde gelegt:

- 1) "Ischämische" ST-Strecken-Senkung: Senkung von mindestens 0,5 mm unter das Niveau der vorangehenden PQ bzw. PR-Strecke mit völlig horizontalem oder

muldenförmigem Verlauf. Das horizontale Stück muß für mindestens 0,08 sec bestehen.

- 2) "Junctionale" ST-Strecken-Senkung, d. h. ST-Strecken-Abgangssenkung von 2 Typen:
 - a) Funktionell: Junctionale ST-Senkung von 0,5 mm oder mehr, bei welcher der QX/QT-Quotient unter 50 % bleibt.
 - b) Organisch: Junctionale ST-Senkung von 0,5 mm oder mehr, bei welcher der QX/QT-Quotient 50 % oder mehr beträgt.
- 3) Zusätzliche Veränderungen, die häufig ischämische ST-Senkungen begleiten: Komplette T-Inversion, AV-Block- und Schenkelblockbilder, sowie gehäufte Extrasystolen.

Als "pathologisch" galt nur die ischämische und als "fraglich pathologisch" die junctional-organische ST-Strecken-Senkung vor, während oder nach Belastung in einer oder mehreren Ableitungen.

Bewußt wurde auf das von MASTER in Anlehnung an LEPESCHKIN zusätzlich zu Punkt 2 geforderte Kriterium "oder ein relatives QT-Verhältnis von mehr als 1,08" verzichtet. MASTER betonte in seiner Mitteilung von 1967, daß dieses Kriterium zweifelhaft sei für Probanden unter 25 Jahren und für Pulsfrequenzen über 110/min. Das gleiche gab er zwar ebenfalls für den QX/QT-Quotienten an, dieser wird dennoch auch von anderen Untersuchern wie z. B. SCHWEIZER (1967) zur Beurteilung von Belastungs-EKG herangezogen. Außerdem läßt er sich nach den Erfahrungen des Autors auch bei Frequenzen über 110/min noch ausreichend genau messen.

3.6. Symbole und Dimensionen:

$\bar{x}$	: Arithmetisches Mittel
s	: Standardabweichung
n	: Anzahl der Fälle
W	: Watt
mV	: Millivolt, elektrokardiographisches Amplitudenmaß

BTPS	: Körperverhältnisse (Gasvolumen bei 37° C, gemessener Luftdruck, mit Wasserdampf gesättigt)
STPD	: Standardtemperatur, -druck, trocken (0° C, 760 mm Hg)
AZQ	: Atemzeitquotient
AMV	: Atemminutenvolumen (l), umgerechnet auf BTPS
AGW	: Atemgrenzwert (l), " " BTPS
VK	: Vitalkapazität (l), " " BTPS
AST	: Einsekundenkapazität (Atemstoßtest nach Tiffeneau) in % der Vitalkapazität
P _{aO₂}	: Sauerstoffpartialdruck im arterialisierten Kapillarblut (torr)
P _{aCO₂}	: Kohlendioxidpartialdruck im arterialisierten Kapillarblut (torr)
pH	: negativer dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration
I	: Altersgruppe I, 14 - 29 Jahre
II	: Altersgruppe II, 30 - 44 Jahre
III	: Altersgruppe III, 45 - 60 Jahre
V ₂ , V ₄ ,	
V ₆	: Transthorakale Ableitungen entsprechend den Wilson'schen Brustwandableitungen V ₂ , V ₄ , V ₆ .

4. Ergebnisse

4.1. Gesamtergebnisse

4.1.1. Versuchsablauf:

98 Probanden bewältigten den Arbeitsversuch in allen Belastungsstufen ohne Schwierigkeiten. Nur bei 2 der Untersuchten mußte die Belastung abgebrochen werden: ein 25-jähriger, körperlich wenig trainierter Student klagte in der dritten Erholungsminute über "Unwohlsein" und "Schwindel". Außerdem bat ein 23-jähriger Student mit Folgen einer Poliomyelitis und starker Übergewichtigkeit in der 12. Belastungsminute um Beendigung des Versuchs, wegen "Erschöpfung". Beide erholten sich nach kurzem Liegen. Pathologische EKG-Zeichen waren bei ihnen nicht festzustellen.

4.1.2. EKG-Auswertung:

Bei den 100 untersuchten Normalpersonen fanden sich in 5 % von der Norm abweichende EKG während Belastung. Im einzelnen handelte es sich um 1 pathologische (ischämische) und bei 4 Probanden um fraglich pathologische ST-Senkungen. Sie wurden ausschließlich in den höheren Altersgruppen beobachtet.

Zusätzliche EKG-Veränderungen wie AV- oder Schenkelblockbilder oder gehäufte Extrasystolen fanden sich nicht. In jeder Altersgruppe kam es lediglich bei je 1 Probanden zum Auftreten vereinzelter ventrikulärer Extrasystolen. T-Inversionen waren etwas weniger selten. Sie betreffen ausnahmslos die Ableitung V_2 und kamen in folgender Häufigkeit vor:

In Gruppe I 1 x während der Belastung;

in Gruppe II 5 x während der Belastung;

in Gruppe III überhaupt nicht.

Alle Inversionen bestanden ohne gleichzeitige ST-Senkung.

4.2. Einzelresultate der EKG-Auswertung

4.2.1. Resultate zum Normalverhalten:

Die Befunde zweier Probanden sollen im einzelnen demonstriert werden: Abbildung 3 (a, b) zeigt ein Beispiel für das normale Arbeits-EKG ohne pathologische Belastungszeichen.

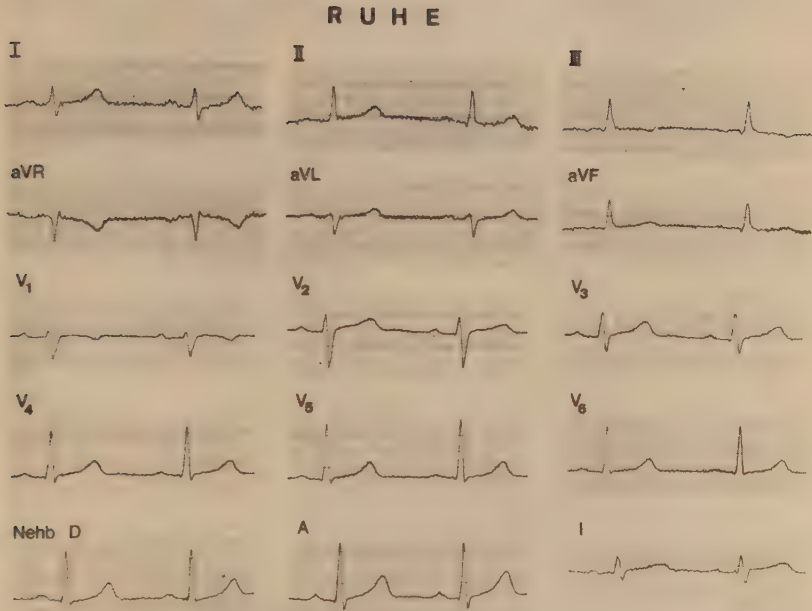
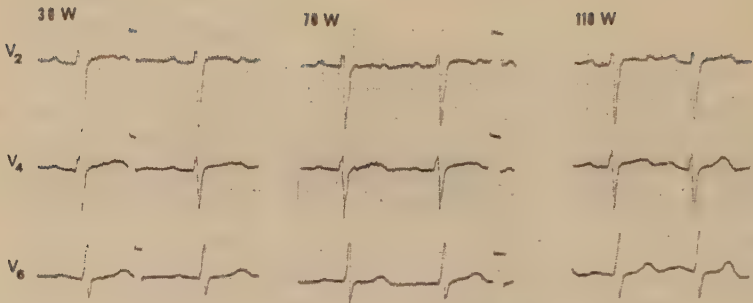


Abbildung 3 a: R., H., 37 Jahre, unauffälliges Ruhe-EKG.
Eichung: 1 mV = 1 cm; Papiervorschub
50 mm/min.

BELASTUNG



ERHOLUNG

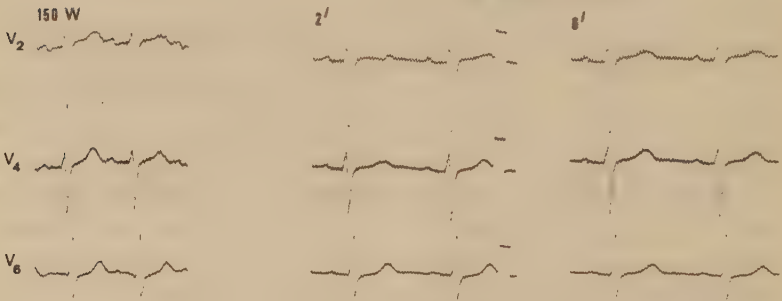


Abbildung 3 b: R., H., normales EKG während der einzelnen Belastungsstufen, sowie in der 2. und 6. Erholungsminute.

Mit V_2 , V_4 , V_6 sind im Belastungs- und Erholungs-EKG die transthorakalen Ableitungen entsprechend den Wilson'schen Ableitungen V_2 , V_4 , V_6 bezeichnet.

Die Abbildung 4 (a, b, c) zeigt einen 50-jährigen Probanden mit überdurchschnittlich hohen pulmonalen Funktionsreserven. Das Arbeits-EKG fiel normal aus.

Der Proband K., A., dessen Befunde in Abbildung 4 wiedergegeben werden, sei kurz näher beschrieben:

Der 180 cm große und 87 kg schwere Mann war bisher nie ernstlich krank. 1938 Meniskusentfernung, 1952 Synoviektomie am rechten Kniegelenk. Er hatte keine Unfälle und ist Nichtraucher. Sein Arbeitsplatz ist nicht staub- oder

klimabelastet, da er vorwiegend im Büro arbeitet. Er treibt seit dem 15. Lebensjahr Leichtathletik. Bis heute absolviert er täglich ein Dauerlauftraining von 20 km.

EKG: Links-Typ, ohne pathologische Zeichen in Ruhe, während Belastung oder Erholung. 2 min nach der Belastung einzelne ventrikuläre Extrasystolen, Puls bei 150 W: 133/min.

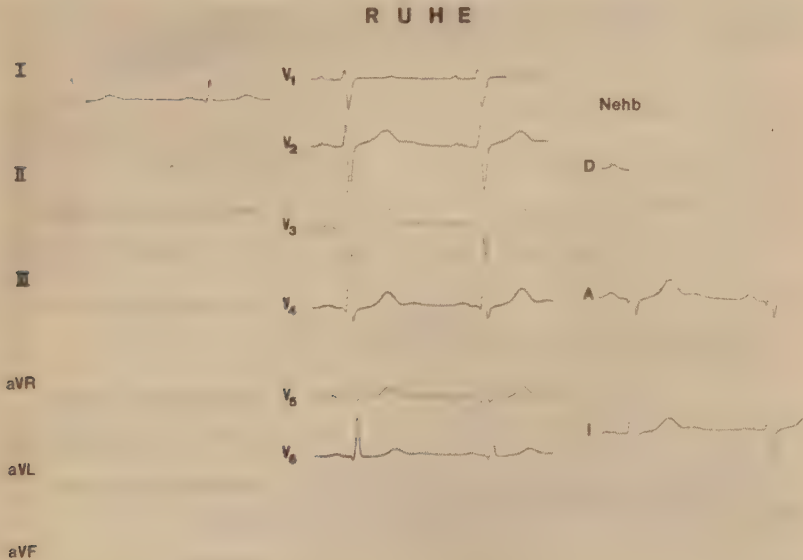


Abbildung 4 a: Proband K., A., 50 Jahre; unauffälliges Ruhe-EKG

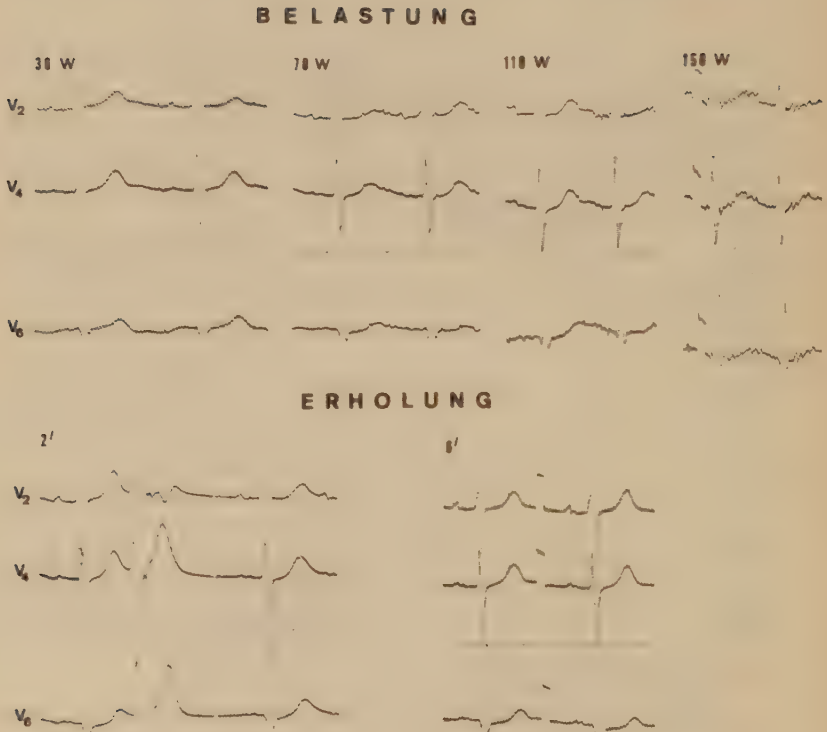


Abbildung 4 b: Normales EKG während Belastung und Erholung. Bei 150 W wird die Kurve von Muskelaktionspotentialen gestört. Eine ventrikuläre Extrasystole findet sich in der 2. Erholungsminute.

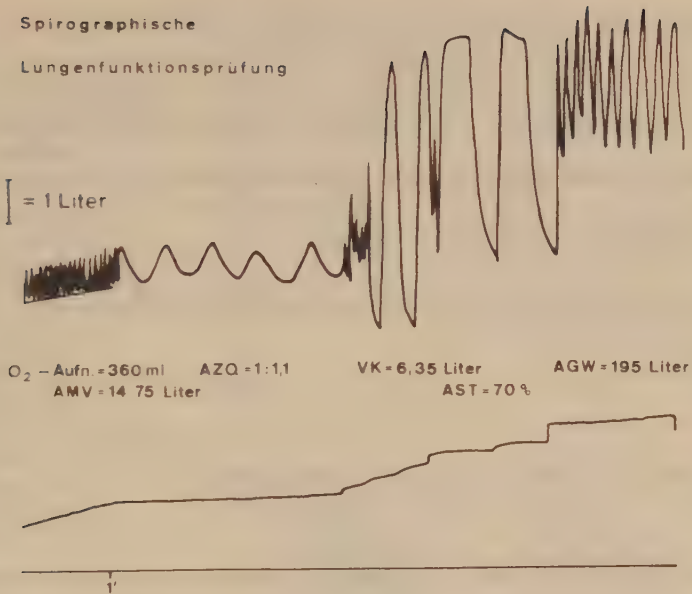


Abbildung 4 c: Ruhespirographische Lungenfunktionsprüfung. Der Proband zeigt für sein Alter eine überdurchschnittlich gute ventilatorische Funktion (O₂-Aufnahme auf STPD, AMV, VK und AGW auf BTPS umgerechnet).

4.2.2. Pathologische Belastungsreaktionen im EKG:

Das bedeutendste Belastungszeichen für alle Altersgruppen sind Abweichungen vom normalen ST-Strecken-Verlauf. Einen Überblick über Art und Zeitpunkt des Auftretens von ST-Strecken-Senkungen gibt Tabelle 3.

Tabelle 3: Häufigkeit, Art und Zeitpunkt des Auftretens von ST-Strecken-Senkungen.

Abk.: J = Jahre, ' = min; $\longrightarrow$ = Übergang in ...

	Ruhe	Belastung	Erholung	Art der ST-Senkung
Gruppe I (14-29 J)	0	0	0	ischämisch junctional-organisch
Gruppe II (30-44 J)	0	0	2x V_6 , 2 '	ischämisch junctional-organisch
Gruppe III (45-60 J)	1x Nehb D mit Nehb A und V_4	1x V_6 ab 30 W $\longrightarrow$ V_6 bei 150 W 1x V_4 bei 150 W	ab 9 ' - - $\downarrow$	ischämisch junctional-organisch

Junctional-funktionelle ST-Senkungen wurden nicht gesondert erfaßt. Eine individuell verschieden starke Vertiefung des ST-Strecken-Abgangs in Verbindung mit einem QX/QT-Quotienten unter 50 % wird häufig bei Pulsfrequenzen über 100/min beobachtet. Dieser Sachverhalt konnte in dieser Untersuchung bestätigt werden.

FLEISCH (1962) spricht in dem Zusammenhang vom "Tachykardie-effekt".

In Gruppe I kam es zu keinerlei pathologischen Veränderungen. In den beiden Fällen der Gruppe II blieben die junctional-organischen Senkungen während der 6 Erholungsmi-nuten bestehen. Der erste Proband mit junctional-organischer ST-Senkung in Gruppe III hatte als einziger auch in Ruhe eine ischämische Senkung in Nehb D und junctional-organische Ver-änderungen in V_4 und Nehb A, wie Abbildung 5 zeigt.

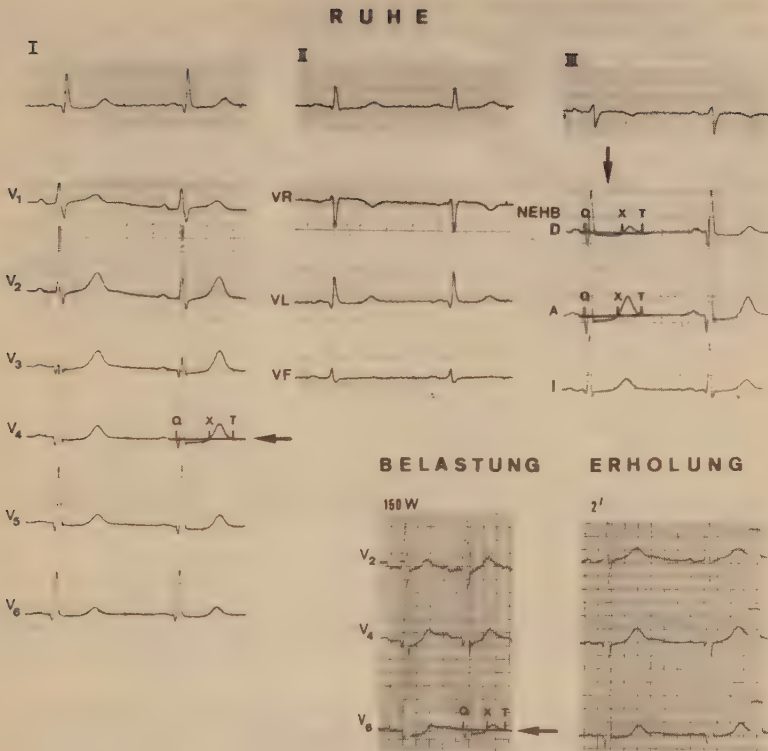


Abbildung 5: R., K., 59 Jahre. In Ruhe ischämische ST-Senkung in Nehb D und junctional-organische Senkung in Nehb A und V₄. Unter Belastung bei 150 W junctional-organ. Senkung in V₆, völlige Rückbildung in der 2. Erholungsminute. Puls bei 150 W: 130/min, Blutgaswerte (P_{aO₂} und P_{aCO₂}) mit 72,4 torr u. 40,6 torr in Ruhe, 64,9² torr u. 42,9 torr bei 150 W und 80,4 torr u. 43,4 torr in der 2. Erholungsminute unauffällig. QX/QT in Nehb D in Ruhe 0,28/0,43 sec; in V₆ 0,24/0,42 sec und Nehb A 0,25/0,44 sec; bei 150 W in V₆ 0,17/0,29 sec.

In der Altersgruppe der 45 - 60-jährigen (III) kam es bei dem 50-jährigen Probanden B., G., zur einzigen ischämischen Belastungsreaktion der Untersuchungsreihe. Abbildung 6 (a, b)

zeigt die Entwicklung dieser ST-Senkung.

Aus Anamnese und Befunden von Herrn B., G. sei kurz folgendes angeführt: Der 171 cm große und 78 kg schwere Mann hatte folgende Krankheiten: 1927 Rippenfellentzündung, 1942 Gelenkrheumatismus besonders im rechten Kniegelenk, 1966 Grippe.

Seit etwa 30 Jahren arbeitet er als technischer Zeichner im Büro. Herr B. spielte bis zum 30. Lebensjahr aktiv Fußball, zum Ausgleich betreibt er jetzt noch 3 x wöchentlich ein Lauftraining.

EKG: Indifferenztyp, Ruhe-EKG ohne sichere pathologische Zeichen, Belastungs- und Erholungs-EKG siehe Abbildung 6 (a, b). Der Proband gab trotz der deutlichen ischämischen ST-Senkung während oder nach der Belastung keinerlei Beschwerden an.

R U H E

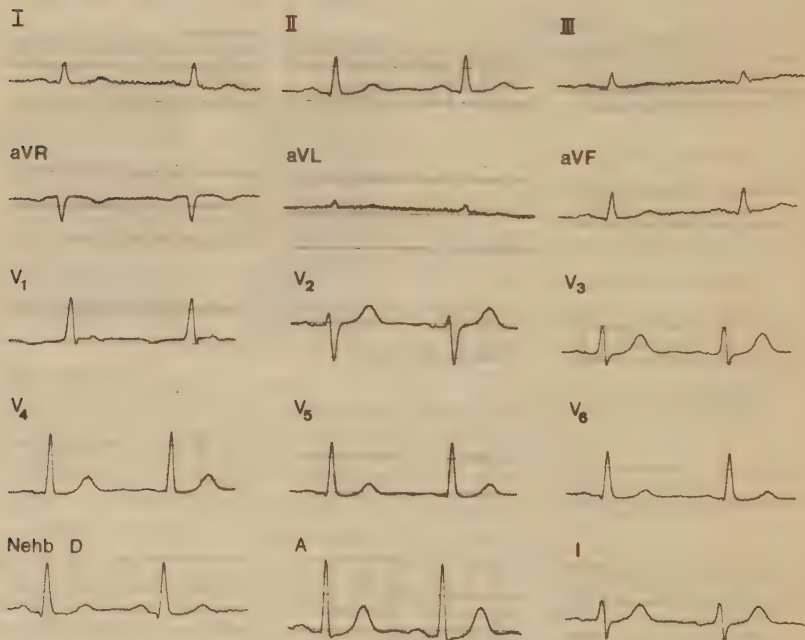
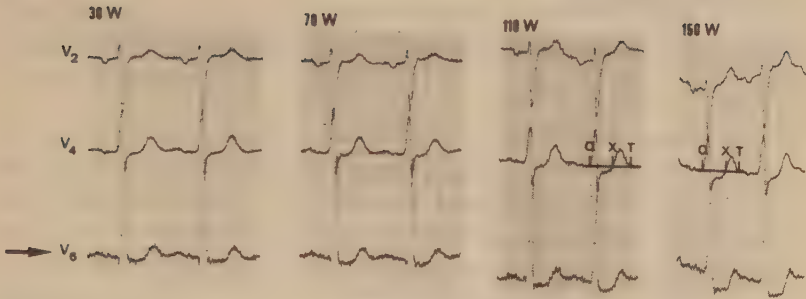


Abbildung 6 a: B., G., 58 Jahre, normales Ruhe-EKG.

BELASTUNG



ERHOLUNG

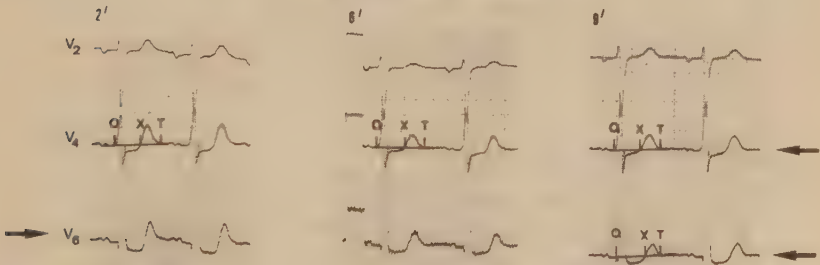


Abbildung 6 b: Unter Belastung entwickelt sich in V_6 die ischämische ST-Senkung, die erst ab der 9. Erholungsminute in den junctional-organischen Typ übergeht.
Puls bei 150 W 150/min; Blutgase (P_{aO_2} u. P_{aCO_2}) mit 78,0 torr u. 40,5 torr in 2 Ruhe, 83,0 torr u. 41,0 torr bei 150 W und 78,0 torr u. 40,8 torr in der 2. Erholungsminute unauffällig. QX/QT in V_4 bei 110 W 0,16/0,28 sec; bei 150 W 0,16/0,23 sec; in der 2. Erholungsminute 0,17/0,29 sec; in der 6. Erholungsminute 0,19/0,23 sec; in der 9. Erholungsminute 0,18/0,23 sec und in V_6 in der 9. Erholungsminute 0,19/0,23 sec.

4.3. Das Verhalten der R-, S- und T-Amplituden (Dargestellt am Beispiel von V_4 , V_6)

Die quantitative Auswertung der EKG brachte folgende Resultate.

4.3.1. R-Zacken:

Abbildung 7 stellt die Veränderungen der R_4 , R_6 -Amplituden dar.

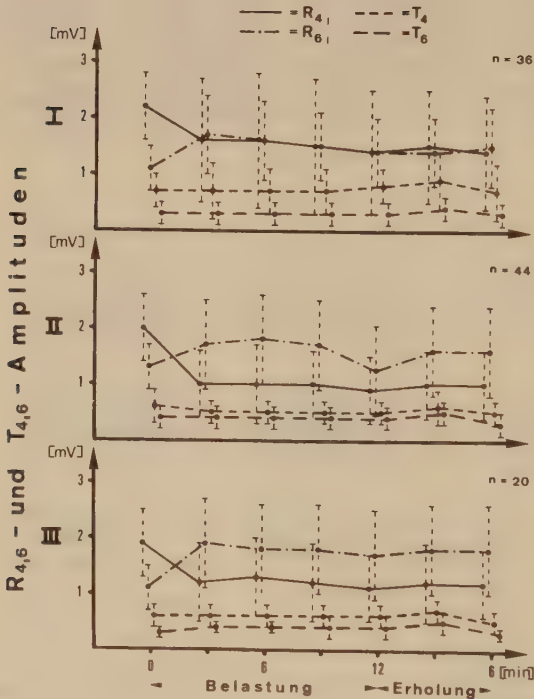


Abbildung 7: Mittelwerte mit Standardabweichung der R_4 , R_6 - und T_4 , T_6 - Amplituden während des Arbeitsversuchs (Zeitpunkt 0 = Ruhewert) in allen Altersgruppen (I, II, III).

Bei R_4 wird für alle Altersgruppen ein Abfall der Amplituden von der Ruhe zur ersten Belastungsminute sichtbar, dem ein fast gleich großer Anstieg von R_6 im gleichen Zeitraum

gegenübersteht. Diese Amplituden werden dann mit geringen Schwankungen bis zur 6. Erholungsminute beibehalten.

4.3.2. S-Zacken:

Für die S-Zacken ergibt sich ein einheitliches Ergebnis:

Bei sämtlichen Probanden nehmen die S_2 , S_4 , S_6 -Amplituden ausnahmslos von der Ruhe zur 6. Erholungsminute zu.

In allen Altersgruppen ist die Steigerung in der Ableitung V_6 mit dem 6 bis 7-fachen des Ruhewertes relativ am größten (Abbildung 8).

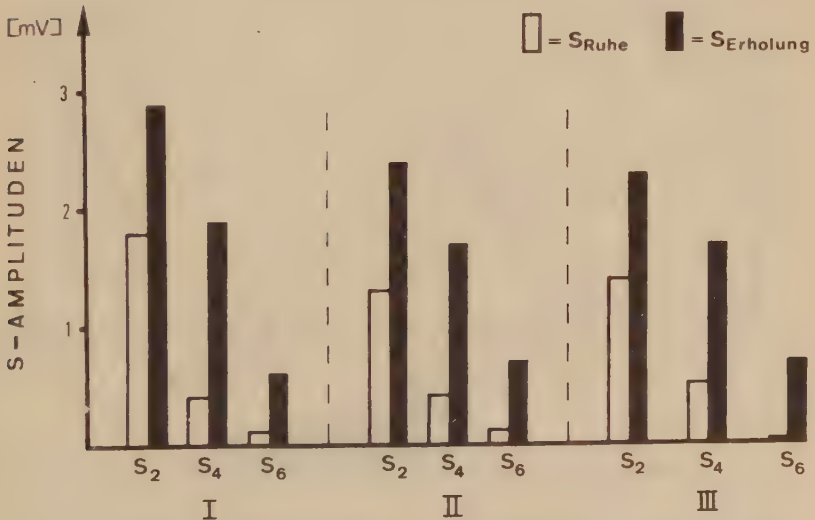


Abbildung 8: Vergleich der Amplituden S_2 , S_4 und S_6 in Ruhe gegenüber der 6. Erholungsminute.

4.3.3. T-Wellen:

Die Höhe der T_4 , T_6 -Amplituden ist in Abbildung 7 dargestellt. Es zeigt sich, daß die T_4 , T_6 -Amplitude während Ruhe, Belastung und Erholung mit einer durchschnittlichen Höhe von 0,5 - 0,9 mV in allen Altersgruppen wenig Unterschiede aufweist. Wie stark die relative Abflachung von T_4 , T_6 gegenüber R_4 , R_6 während körperlicher Belastung ist, wird in Abbildung 9 anhand des R/T-Quotienten dargestellt. Der Amplitudenquotient hat in allen Altersgruppen für V_4 , V_6 annähernd die gleiche Größe.

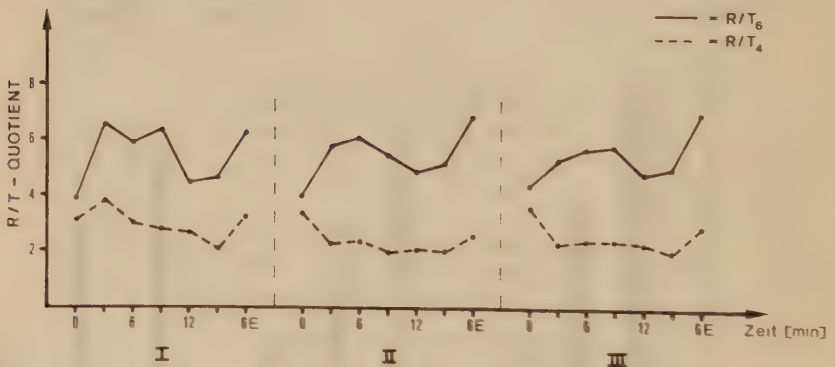


Abbildung 9: Amplitudenunterschiede zwischen R und T, dargestellt anhand der Mittelwerte des jeweiligen R/T_4 - bzw. R/T_6 -Quotienten. Der Zeitpunkt 0 gibt den Ruhewert wieder.

Keines der unter 4.3.1. bis 4.3.3. genannten R-, S- oder T-Amplitudenverhältnisse zeigte in den pathologischen bzw. fraglich pathologischen ST-Senkungs-Fällen eine unterschiedliche Reaktion im Vergleich zu dem restlichen Kollektiv.

4.4. Verhalten von Pulsfrequenz, Blutdruck- und Blutgaswerten

4.4.1. Pulsfrequenz:

Über das Verhalten der Pulsfrequenz gibt Abbildung 10 Auskunft.

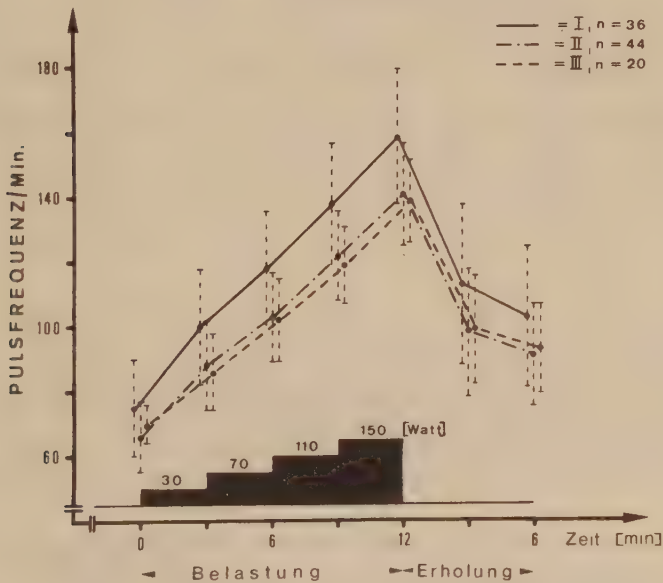


Abbildung 10: Mittelwerte der Pulsfrequenz (mit Standardabweichung) der drei Altersgruppen I, II und III in Ruhe (= 0), während Belastung und Erholung.

Die Abbildung zeigt, daß die Herzschlagfrequenzen der Probanden im Alter von 30 bis 60 Jahren (Altersgruppen II und III) annähernd gleiche Werte erreichen. Die Pulsfrequenzen der 14 bis 29-Jährigen (Gruppe I) liegen deutlich höher (Beispiel für die mittlere Pulsfrequenz bei 150 W: in II 141, in III 140/min, dagegen in I 159/min).

Das Ergebnis einer varianzanalytischen Prüfung des Pulsfrequenzverhaltens ist in Tabelle 4 wiedergegeben.

Tabelle 4: F-Werte aus den Varianzanalysen aufgrund der Pulsfrequenzwerte der drei Altersgruppen (I, II, III) für alle Zeitpunkte des Arbeitsversuchs unter Angabe der Irrtumswahrscheinlichkeit P. Testgröße t nach DUNETT für die varianzanalytisch signifikanten Untersuchungsergebnisse unter Angabe der Irrtumswahrscheinlichkeit.

	Ruhe	Belastung /min/				Erholung /min/	
		3.	6.	9.	12.	2.	6.
F	4,187*	7,194**	11,091**	12,504**	14,958**	5,598**	4,381*
t _{I/II}	2,89*	3,33**	4,33**	4,46**	4,80**	3,21**	2,81*
t _{I/III}	1,40	3,09**	3,70**	4,11**	4,19**	2,37	1,99
t _{II/III}	0,95	0,42	0,22	0,53	0,34	0,22	0,27

Irrtumswahrscheinlichkeit * : P < 0,05; **: P < 0,01

Die Varianzanalyse mit nachfolgendem DUNETT-Test /Ostle, B., 1966/ ergibt signifikante Pulsfrequenzunterschiede:

in Ruhe zwischen Gruppe I (14 - 29 J.) und II (30 - 44 J.);

während der gesamten Belastungsdauer zwischen Gruppe I einerseits und den Gruppen II und III (45 - 60 J.);

in der Erholungsphase zwischen Gruppe I und II.

4.4.2. Blutdruck:

Die Blutdruckwerte vor der Belastung, unmittelbar nach der höchsten Belastungsstufe und während der Erholung zeigt Tabelle 5.

Tabelle 5: Blutdruckmittelwerte in Ruhe, Anfang der 1. und Ende der 5. Erholungsminute.

		Ruhe		Erholung /min/ 1. 5.			
		Syst.	Diast.	Syst.	Diast.	Syst.	Diast.
I	$\bar{x}$	134,4	85,0	153,5	76,9	126,5	78,1
	s	24,7	14,9	19,7	15,0	15,7	11,9
	n	31	31	13	13	13	13
II	$\bar{x}$	143,4	96,1	172,7	80,7	133,8	88,4
	s	15,1	10,1	20,0	13,9	13,4	7,7
	n	43	43	34	34	32	32
III	$\bar{x}$	150,5	95,4	177,3	77,0	135,9	86,6
	s	21,8	9,1	21,8	14,2	12,8	10,5
	n	18	18	15	15	17	17

Auch hier wird die Tendenz ersichtlich, daß offenbar vor allem für den durch die Belastung gesteigerten systolischen Blutdruck bei Belastungsende und in der Erholung die größte Differenz zwischen den Altersgruppen II und III einerseits und der Gruppe I andererseits besteht. Das Blutdruckverhalten ist insofern dem der Pulsfrequenz vergleichbar.

4.4.3. Blutgaswerte:

Bei den Blutgaswerten gilt die besondere Beachtung dem Sauerstoff-Partialdruck. Abbildung 11 verdeutlicht zweierlei:

1. In den Altersgruppen II und III ist die Verminderung des P_{aO_2} während der Belastung weniger ausgeprägt als in Gruppe I.

2. In Gruppe I liegt der P_{aO_2} in der 2. Erholungsminute unter, in den Gruppen II und III über dem Ruhewert.

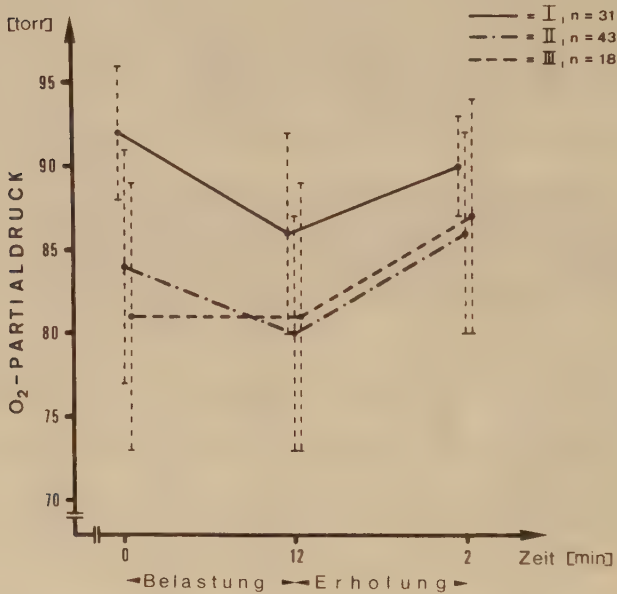


Abbildung 11: Mittelwert des Sauerstoffpartialdrucks in Ruhe (= 0), am Ende der Belastung (= 12) und in der 2. Erholungsminute (= 2).

Abbildung 11 läßt für den Sauerstoffpartialdruck in den Altersgruppen II und III die Tendenz erkennen, sich weitgehend gleichartig gegenüber der Altersgruppe I zu verhalten.

Einen zusammenfassenden Überblick über die ermittelten Blutgas- und pH-Werte gibt Tabelle 6.

Tabelle 6: Mittelwerte der O₂- und CO₂-Spannung und des pH im arterialisierten Kapillärblut.

		Ruhe			12' Belastung			2' Erholung		
		PaO ₂	PaCO ₂	pH	PaO ₂	PaCO ₂	pH	PaO ₂	PaCO ₂	pH
I	$\bar{x}$	91,8	39,2	7,403	86,1	41,3	7,402	89,9	40,3	7,395
	s	4,0	0,7	0,020	5,5	1,0	0,054	3,2	0,6	0,017
	n	33	33	33	32	32	32	31	31	31
II	$\bar{x}$	83,6	39,7	7,401	80,4	41,4	7,388	85,8	40,7	7,391
	s	7,0	0,8	0,040	6,7	0,9	0,024	5,6	0,9	0,026
	n	43	37	43	43	36	41	43	35	39
III	$\bar{x}$	81,4	40,2	7,401	80,7	41,4	7,390	86,8	41,4	7,393
	s	8,1	0,7	0,017	8,3	1,0	0,000	7,0	1,0	0,026
	n	18	17	18	18	17	18	18	17	18

Auch bei den Werten von Pulsfrequenz, Blutdruck und Blutgasen ergaben sich in den Fällen mit pathologischen bzw. fraglich pathologischen ST-Strecken-Senkungen keine auffallenden Unterschiede gegenüber dem restlichen Kollektiv.

5. Diskussion der Ergebnisse

Die vorliegende Untersuchung hat gezeigt, daß die angewendete Ergometerbelastung nach Form, Schwere und Dauer gesunden Männern im Alter bis zu 60 Jahren ohne Schwierigkeiten zugemutet werden konnte. Das entspricht der Auffassung der im Literaturüberblick zu dieser Frage zitierten Autoren.

Vergleicht man die Häufigkeit der hier gefundenen diagnostisch wichtigen Fälle von ST-Senkungen (5 %) mit einigen Angaben aus der Weltliteratur (z. B. WENER und Mitarbeiter (1953), 7,1 %, LEPESCHKIN und SURAWICZ (1958) je nach Alter 3,6 - 52 %, BELLET und Mitarbeiter (1962) 13 %; Näheres siehe Tabelle 1.), so fallen z. T. beträchtliche Differenzen auf. Die Gründe dafür sind hauptsächlich in folgenden Faktoren zu sehen:

1. Unterschiedliche Auswahl der verglichenen Kollektive bezüglich Alter und Tätigkeit der Untersuchten;
2. Verschiedenartigkeit von Belastungsform, -stärke und -dauer;
3. von einander abweichende Zeitpunkte der EKG-Registrierung;
4. Beurteilung mit unterschiedlichen EKG-Kriterien.

An dieser Stelle soll auch hinsichtlich der EKG-Kriterien noch einmal auf Tabelle 1 hingewiesen werden. Sie verdeutlicht die Verschiedenartigkeit der von den einzelnen Autoren verwendeten ST-Kriterien.

Anerkannt wird von den meisten Untersuchern heute die Bedeutung des "ischämischen" Typs der ST-Senkung. Weniger eindeutig wird dagegen die ascendierende oder junctionale Form der ST-Senkung beurteilt: ROBB und MARKS (1967) verneinen auf Grund eigener Beobachtungen gänzlich die von MASTER 1967 angegebene Bedeutung der junctional-organischen ST-Senkung. Im gleichen Sinne äußern sich FLEISCH (1962), HEINECKER (1965) sowie MOLL und HAMACHER (1967). Diese Autoren halten beide Formen junctionaler ST-Senkungen für ein physiologisches Belastungsphänomen.

ROSKAMM, REINDELL und Mitarbeiter (1963) bewerten die aszendierende Form der ST-Senkung "nicht als Ausdruck einer Koronarinsuffizienz, jedoch auch nicht als normal". SCHWEIZER und Mitarbeiter (1967) hingegen beurteilen eine junctionale ST-Senkung, die mehr als 1 mm unter der isoelektrischen Linie beginnt und deren QX/QT-Quotient mehr als 50 % beträgt, als "positives", d. h. abnormes Ergebnis des Arbeitsversuchs. Angesichts der verschiedenen Beurteilungsmaßstäbe wurden in dieser Arbeit junctional-organische ST-Senkungen als "fraglich pathologisch" eingestuft.

Zum Verhalten der R-, S- und T-Amplituden sei zunächst HOLZMANN (1965) zitiert: "Die einzelnen Zacken der QRS-Gruppe zeigen nach Arbeit kein einheitliches Verhalten. In relativ vielen Fällen werden R kleiner und S tiefer. Die Buntheit der Reaktionsformen wird durch Einflüsse

des neurovegetativen Tonus, der Herzfrequenz,
des Schlagvolumens, des Trainingszustandes, der Ermüdung,
der O₂-Belieferung und der Herzlage bestimmt."

Unter diesen Aspekten erklären sich auch die hier vorgelegten Beobachtungen des Verhaltens der R-, S- und T-Amplituden. Ebenfalls umstritten ist die diagnostische Bedeutung der unterschiedlichen Reaktionen der T-Welle auf Belastung.

DIETRICH und SCHWIEGK werteten 1933 nach Belastung auftretende Abflachungen als Ausdruck einer realtiven Koronarinsuffizienz. Andere Untersucher wie SCHÖNE (1936), SCHLOMKA, REINDELL und MALAMANI (1939), KLEPZIG und Mitarbeiter (1956) deuteten Abflachungen der T-Welle nach der Belastung als ein physiologisches Phänomen. ROBB und Mitarbeiter (1958) fanden in einer 10-jährigen Beobachtungszeit bei Personen mit T-Veränderungen während der Belastung einschließlich T-Inversionen die Mortalität und die Erkrankungshäufigkeit an Herzinfarkt nicht größer als bei solchen mit negativem Belastungs-EKG. Ebenso sind ROSKAMM und Mitarbeiter (1963) der Ansicht, "daß eine T-Abflachung während der Belastung nicht Ausdruck einer Koronarinsuffizienz ist". T-Inversionen beurteilen sie "etwas vorsichtiger". Auch nach HEINECKER (1965) kommt

dem Verhalten der T-Zacke "keine entscheidende Bedeutung" zu.

Bei der Beurteilung der T-Amplitude wurden in dieser Untersuchung in Anlehnung an ROSKAMM und Mitarbeiter (1963) die R/T-Quotienten ausgerechnet. Das Ergebnis (s. Abbildung 9) bestätigt die geringe Aussagekraft von T-Abflachungen durch Arbeit, besonders, wenn sie ohne gleichzeitig auftretende Ischämiezeichen vorkommen.

Vielfach wird in der Literatur auch die Frage diskutiert, ob das EKG während oder nach der Belastung oder zu beiden Zeitpunkten registriert werden sollte. Die bei zwei Probanden aufgetretenen ST-Senkungen unterstreichen die Bedeutung des Registrierens während und nach Belastung. Einmal trat die Senkung (V_4 bei 150 W) nur während der Belastung auf, ein anderes Mal wurde sie durch die Belastung wesentlich verdeutlicht (V_6 ab 30 W).

Dieser Befund bestätigt die in der Einleitung zitierten Angaben von Autoren wie ASTRAND (1960), BELLET und Mitarbeiter (1964), SCHWEIZER und Mitarbeiter (1967) und SANDLER (1967).

Abschließend läßt sich angesichts der vorliegenden Untersuchungsergebnisse sowie der in der Literatur gefundenen Studien über das Belastungs-EKG sagen: Das Arbeits-EKG ist kein in jedem Fall treffsicheres Verfahren zur Objektivierung koronarer Durchblutungsstörungen. So wurde z. B. von MASTER (1967) der Anteil sogenannter "falsch positiver" wie auch "falsch negativer" Ergebnisse mit 3 bis 4 % angegeben. FLEISCH (1962) schätzte die Häufigkeit falsch positiver Belastungszeichen z. B. bei vegetativ dystonischen Kreislaufgesunden mit ca. 10 % an. ROSKAMM und Mitarbeiter wiesen 1963 auf folgende Möglichkeiten von Fehlbeurteilungen des Belastungs-EKG hin: Belastungs-EKG bei Probanden mit vegetativer Stigmatisation, bei Fällen mit Wolff-Parkinson-White-Syndrom, bei Patienten mit vorhergehender Digitalisierung.

Diese Gruppen können unter Belastung ischämische ST-Senkungen zeigen, obwohl keine Koronarinsuffizienz vorliegt.

Schließlich nennen sie Infarktpatienten, die unter Belastung eine Positivierung von im Ruhe-EKG negativen T-Zacken erkennen lassen. ROSKAMM und Mitarbeiter sind der Ansicht, "daß die Positivierung der T-Zacken bei Infarktpatienten nicht unbedingt als verbesserte Durchblutung aufzufassen ist, sondern vielmehr durch zusätzliche ischämische Reaktionen bedingt sein kann".

Um in Anbetracht dieser Fehlerquellen die Treffsicherheit und Eindeutigkeit des Belastungs-EKG bei der Diagnostik der genannten Herzbeschwerden zu festigen, ist daher eine Umkehrung der vorhin erwähnten Gründe für die Verschiedenartigkeit der in der Literatur beschriebenen Ergebnisse zu fordern:

1. Vereinheitlichung der Belastungsform bei individueller Dosierung und Dauer,
2. Registrierung des EKG vor, während und nach der Belastung,
3. Beurteilung des EKG mittels gleicher, möglichst strenger Kriterien.

Bezüglich Pulsfrequenz, Blutdruck und arterieller Blutgaswerte fanden sich in vergleichbaren Arbeiten keine ins Einzelne gehenden Angaben. Diese Größen wurden in der Regel nur zum Zweck der Überwachung der Probanden kontrolliert.

Besonders im Hinblick auf die Blutgaswerte ist es unklar, ob sie sich in Fällen von pathologischer ST-Senkung ebenfalls abnorm verhalten. Bei den hier untersuchten Personen war die Zahl der pathologischen ST-Senkungen zu klein, um sie mit den Blutgaswerten korrelieren zu können. Derartige Fragen müssen weiteren speziellen Untersuchungen vorbehalten bleiben.

6. Zusammenfassung

Bei 100 berufstätigen, gesunden Männern wurden das Elektrokardiogramm und die Pulsfrequenz untersucht, und zwar vor, während und nach dosierter, körperlicher Belastung auf dem Fahrradergometer. Die Probanden waren 14 - 29 (Gruppe I), 30 - 44 (Gruppe II) und 45 - 60 Jahre (Gruppe III) alt. Sie leisteten eine Arbeit von jeweils 30, 70, 110 und 150 Watt für je 3 min im Sitzen.

Das EKG registrierten wir vorher in Ruhe mit den Standard-, Goldberger-, Wilson- und Nehb'schen Ableitungen. In der 3. Minute jeder Belastungsstufe und in der 2. und 6. Erholungsminute schrieben wir es mit transthorakalen Ableitungen entsprechend Wilson V_2 , V_4 , V_6 .

Gleichzeitig wurden punktuelle Messungen der Pulsfrequenz und des Blutdrucks, sowie der arteriellen Blutgase vorgenommen.

Die EKG-Auswertung erfolgte nach Kriterien von MASTER und ROSENFELD (1964, 1967). Als fraglich pathologisch galt der junctional-organische, als pathologisch der ischämische Typ der ST-Strecken-Senkung.

Die EKG-Auswertung ergab insgesamt einmal eine pathologische und viermal fraglich pathologische ST-Senkungen in den Altersgruppen II und III. Zwei davon traten nur während der Belastung auf oder wurden durch diese verdeutlicht. Die körperliche Arbeit wirkte sich auf die R-, S- und T-Amplituden wie folgt aus: R_4 wurde kleiner, R_6 größer. Die S-Zacke vertiefte sich in allen Fällen von der Ruhe zur 6. Erholungsminute. Die T_4 , T_6 -Amplituden blieben in allen Altersgruppen auf einer mittleren Höhe von 0,5 - 0,9 mV. Von diesem Verhalten gab es auch in den 5 pathologischen Fällen keine Abweichungen.

Die Pulsfrequenzen der Altersgruppen II und III lagen nahezu gleich hoch. Demgegenüber wies Gruppe I einen varianzanalytisch signifikant höheren Mittelwert auf. Ein ähnliches Verhalten der Gruppen II und III im Vergleich zu Gruppe I fand sich beim Blutdruck, besonders hinsichtlich der systolischen Werte, sowie bei den arteriellen Blutgaswerten. Auffallend war in Gruppe III die nur minimale Senkung des P_{aO_2}

von der Ruhe zur höchsten Belastungsstufe um im Mittel 0,76 torr. Auch für Pulsfrequenz, Blutdruck und Blutgaswerte ergaben sich in den 5 Fällen diagnostisch wichtiger ST-Senkungen keine auffälligen Unterschiede im Vergleich zu den übrigen Probanden.

7. Literaturverzeichnis

ASTRAND, I.:

Aerobic work capacity in men and women. Acta physiol. scand. 49 (1960), 1 - 92

ASTRAND, I.:

Exercise electrocardiograms in a 5 year-follow-up-study. Acta med. scand. 173 (1963), 257 - 267

ASTRAND, I.:

Exercise electrocardiograms recorded twice with an 8 year interval in a group of 204 women and men 48 - 63 years old. Acta med. scand. 178 (1965), 27 - 39

BELLET, S., S. DELIYIANNIS and M. ELIAKIM:

The ECG during exercise as recorded by radioelectrocardiography. J. amer. med. Ass. 8 (1961), 385 - 400

BELLET, S., M. ELIAKIM, S. DELIYIANNIS and E. M. FIGALLO:

Radioelectrocardiographic changes during strenuous exercise in normal subjects. Circulation 25 (1962), 686 - 694

BELLET, S., O. F. MULLER, D. W. LA VAN, G. J. NICHOLS and A. B. HERRING:

Radioelectrocardiography during exercise in patients with the anginal syndrome. Circulation 29 (1964), 366 - 375

BENEDICT, F. G. and T. M. CARPENTER:

The influence of muscular and mental work on metabolism and the efficiency of the human body as a machine. Washington, Govt. Print. office (1909), 100

BENGTTSSON, E.:

The exercise electrocardiogram in healthy children and in comparison with adults. Acta med. scand. 154 (1956), 225 - 244

BLOHMKE, M., H. SCHAEFER, S. DRESSLER, O. STELZER und H. STRUMPF:

Elektrokardiographische Befunde bei arbeitsfähigen Männern in Ruhe, nach Belastung und zu Beginn und am Ende einer Kur bzw. eines Urlaubs. Arch. Kreislforsch. 52 (1967), 64 - 78

BRITTINGHAM, H. H. and P. D. WHITE:

Cardiac functional tests. J. amer. med. Ass. 79 (1901), 1922

DATEY, K. K. and S. N. MISRA:

The evaluation of two-step exercise test in patients with heart disease of different etiologies. Dis. Chest 53 (1968), 294 - 300

DIETRICH, S. und H. SCHWIEGK:

Angina pectoris und Anoxie des Herzmuskels. Z. klin. Med. 125 (1933), 195 - 242

FLEISCH, A. O.:

Elektrokardiographie während Belastung unter direkter Kontrolle am Sichtgerät. *Cardiologia* 40 (1962), 235 - 244

HEGGLIN, R.:

Differentialdiagnose innerer Krankheiten. 10. Aufl., Thieme Stuttgart (1966)

HEINECKER, R.:

Über Anwendung, Ausführung und Bewertung des sogenannten Belastungselektrokardiogramms. *Dtsch. med. Wschr.* 90 (1965), 15 - 18

HOLZMANN, M. und F. WUHRMANN:

Der Arbeitsversuch im Elektrokardiogramm. *Dtsch. med. Wschr.* 62 (1936), 379 - 384

HOLZMANN, M.:

Klinische Elektrokardiographie. 5. Aufl., Thieme Stuttgart (1965) 162 - 170

ISAACS, J. H., M. WILBURNE, H. MILLS and R. KUHN:

Vectorelectrocardiographic exercise test in ischemic heart disease. *J. amer. med. Ass.* 198 (1966), 1065 - 1070

KALTENBACH, M. und H. KLEPZIG:

Das EKG während Belastung und seine Bedeutung für die Erkennung der Koronarinsuffizienz. *Z. KreislForsch.* 52 (1963), 486 - 497

KALTENBACH, M., R. SCHÄFER und H. KLEPZIG:

Prognostische Bedeutung des Belastungselektrokardiogramms. *Med. Klin.* 18 (1967), 710 - 713

KLIMT, F.:

Anwendungsmöglichkeiten der Funkelektrokardiographie in der Pädiatrie. *Pädiat. Praxis* 4 (1965), 177 - 182

KLEPZIG, H., D. MÜLLER und H. REINDELL:

Über das EKG während Belastung und seine klinische Bedeutung. *Z. KreislForsch.* 45 (1956), 741 - 750

KNIPPING, H. W.:

Die Untersuchung der Ökonomie von Muskelarbeit bei Gesunden und Kranken. *Z. ges. exp. Med.* 66 (1929), 517 - 534

KNIPPING, H. W., W. BOLT, H. VALENTIN und H. VENRATH:

Untersuchung und Beurteilung des Herzkranken. 2. Aufl., Enke Stuttgart (1960)

KROGH, A.:

A bicycle ergometer and respiration apparatus for the experimental study of muscular work. *Skand. Arch. Physiol.* 30 (1913), 375

LACHMANN, A. B., H. J. SEMLER and R. H. GUSTAFSON:

Postural ST-T wave changes in the radioelectrocardiogram simulating myocardial ischemia. *Circulation* 31 (1965), 557 - 563

LEFESCHKIN, E. and B. SURAWICZ:

Characteristics of true-positive and false-positive results of electrocardiographic Master two-step exercise tests. New Engl. J. Med. 258 (1958), 511 - 520

LEWES, D. and D. W. HILL:

Application of multipoint electrodes to telemetry in patient-monitoring and during physical exercise. Brit. Heart J. 29 (1967), 689 - 699

MASTER, A. M. and E. T. OPPENHEIMER:

A simple exercise tolerance test for circulatory efficiency with standard tables for normal individuals. Amer. J. med. Sci. 177 (1929), 223 - 243

MASTER, A. M., R. FRIEDMANN and S. DACK:

The electrocardiogram after standard exercise as a functional test of the heart. Amer. Heart J. 24 (1942), 777 - 793

MASTER, A. M. and I. ROSENFELD:

Criteria for the clinical application of the "two-step" exercise test. J. amer. med. Ass. 178 (1961), 283 - 289

MASTER, A. M. and I. ROSENFELD:

Monitored and post-exercise "two-step" test. J. amer. med. Ass. 190 (1964), 494 - 500

MASTER, A. M. and I. ROSENFELD:

Exercise electrocardiography as an estimation of cardiac function. Dis. Chest 51 (1967), 347 - 381

MATTINGLY, T. W.:

Post exercise electrocardiogram: its value in diagnosis and prognosis of coronary artery disease. Amer. J. Cardiol. 9 (1962), 395 - 409

MELLEROWICZ, H., H. REINDELL, W. HOLLMANN, H. MIES und H. ROSKAMM:

Vorschläge zur Standardisierung der ergometrischen Leistungsmessung. Z. Kreisforsch. 50 (1961), 273 - 281

MENDELSSOHN, M.:

Die Erholung als Maß der Herzfunktion. Verh. Kongr. inn. Med. (1901), 200

MOLL, A. und F. HAMACHER:

Elektrokardiographische Funktionsprüfungen von Herz und Kreislauf in Klinik und Praxis. Intern. Praxis 7 (1967), 361 - 372

OSTLE, B.:

Statistics in research. 2 nd Ed. Ames Iowa: Iowa State University Press (1966)

RAPPORT, D. L.:

The systolic blood pressure following exercise; with remarks on cardiac capacity. Arch. int. Med. 19 (1917), 981 - 989

ROBB, G. P., H. H. MARKS and T. W. MATTINGLY:
Stress tests in the detection of coronary disease. Post-
grad. Med. 24 (1958), 419 - 438

ROBB, G. P. and H. H. MARKS:
Postexercise electrocardiogram in arteriosclerotic heart
disease. J. amer. med. Ass. 200 (1967), 918 - 926

ROSENKRANZ, K. A. und A. DREWS:
Über eine modifizierte Ableitungsmethode zur Registrierung
von Brustwandelektrokardiogrammen während dosierter körper-
licher Belastung. Z. Kreislforsch. 53 (1964), 615 - 618

ROSKAMM, H., H. REINDELL, N. NOVAKOVIC, Ch. BÜCHNER und
G. BLÜMCHEN:
Die klinische Bedeutung des Elektrokardiogramms während
Ergometerbelastung. Ärztl. Lab. 9 (1963), 277 - 295

SANDLER, G.:
Comparison of radiocardiography and conventional electro-
cardiography in the exercise tolerance test. Brit. Heart J.
29 (1967), 719 - 724

SCHERF, D. und L. J. BOYD:
Klinik und Therapie der Herzkrankheiten und Gefäßerkrank-
ungen. 6. Aufl., Springer Wien (1955)

SCHERF, D. und S. GOLDHAMMER:
Zur Frühdiagnose der Angina pectoris mit Hilfe des Elektro-
kardiogramms. Z. klin. Med. 124 (1933), 111 - 137

SCHLOMKA, G., H. REINDELL und V. MALAMANI:
Beiträge zur klinischen Elektrokardiographie; weitere Un-
tersuchungen über das Belastungselektrokardiogramm. Z. klin.
Med. 136 (1939), 367 - 377

SCHÖNE, G.:
Über das Belastungselektrokardiogramm bei Gesunden und Herz-
kranken. Verh. dtsch. Ges. inn. Med. 48 (1936), 331 - 339

SCHWEIZER, W., R. BUCHER und L. K. WIDMER:
Über das Elektrokardiogramm während und nach körperlicher
Arbeit bei 1300 berufstätigen Männern. Basler Studie II,
Schweiz. med. Wschr. 97 (1967), 105 - 106

SELIG, A.:
Die funktionelle Herzdiagnostik. Prager med. Wschr. 30
(1905), 418

STRANDELL, T.:
Electrocardiographic findings at rest, during and after
exercise in healthy old men compared with young men. Acta
mediscand. 174 (1963), 479 - 499

VALENTIN, H.:
Persönl. Mitt. Erlangen (1967)

WENNER, J. A., A. SANDBERG, L. SCHERLIS, J. DVORKIN and
A. M. MASTER:

The electrocardiographic response to the standard two-step
exercise test. Canad. med. Ass. J. 68 (1953), 368 - 374

WHITEMAN, J. R., P. A. GORMAN, J. B. CALATAYUD, S. ABRAHAM,
L. A. WEIHRER and C. A. CACERES:

Automation of electrocardiographic diagnostic criteria.
J. amer. med. Ass. 200 (1967), 932 - 938

WOITOWITZ, H.-J., F. W. BUCHHEIM und R. WOITOWITZ:

Zur Theorie und Praxis der Ganzkörperplethysmographie in
der Lungenfunktionsanalyse. Prax. Pneumol. 8 (1967),
449 - 471

WOOD, F. C., C. C. WOLFERTH and M. M. LIVESEY:

Angina pectoris: the clinical and electrocardiographic
phenomena of the attack and their comparisons with the
effects of experimental temporary coronary occlusion.
Arch. intern. Med. 47 (1931), 339 - 365

Lebenslauf

Am 2. März 1944 wurde ich als Sohn des Arztes Dr. Gerhard Richter und seiner Ehefrau Lieselotte, geb. Gerloff in Aachen geboren. Danach wohnten wir zwei Jahre in Nordhausen am Harz, 1946 zogen wir nach Viersen/Rhld., 1954 nach Aachen um. Dort wohnen wir bis heute.

Von 1950 bis 1954 besuchte ich die Volksschule in Viersen. Von 1954 bis 1963 war ich zunächst zwei Jahre Schüler des Aachener Einhardt-Gymnasiums, dann des St. Michael-Gymnasiums in Monschau bei Aachen, wo ich am 21. Februar 1963 die Reifeprüfung bestand.

Mit dem Sommersemester 1963 begann ich das Medizinstudium in Erlangen und legte im April 1964 das Vorphysikum ab. Nach einem weiteren Semester in Erlangen hörte ich zwei Semester in Freiburg/Breisgau und bestand dort im Oktober 1965 das Physikum. Seit dem Wintersemester 1965/66 war ich wieder Student der Universität Erlangen, wo ich am 29. Januar 1969 das medizinische Staatsexamen bestand.

Klaus Richter



LUDWIG MOLLER
BUCH- UND FOTODRUCK
ERLANGEN · FAHRSTR. 5